

**Avaliação de impactes do desenvolvimento urbano sobre a  
Estrutura Ecológica da Península de Setúbal: Uma  
aplicação baseada em autómatos celulares utilizando o  
modelo *SLEUTH***

**Marta Isabel Baptista Afonso**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Arquitectura Paisagista**

Orientador: Doutor Pedro Miguel Ramos Arsénio

Co-orientador: Mestre João Pedro Cabrita da Costa Ferreira Rodrigues

**Júri:**

Presidente: Doutor Luís Paulo Almeida Faria Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Pedro Miguel Ramos Arsénio, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Mestre Ana Muller Lopes Silva Carvalho, Bolseira de Investigação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, na qualidade de especialista.







# AGRADECIMENTOS

Após finalizar mais uma etapa na minha vida é para mim um privilégio poder expressar aqui o meu agradecimento a todos aqueles que me acompanharam ao longo deste percurso e que contribuíram para a elaboração desta tese. O meu profundo agradecimento:

Ao Professor Pedro Arsénio e ao João Rodrigues, meus orientadores, pela competência científica, orientação e disponibilidade, bem como pelas sugestões e correcções relevantes feitas durante a orientação.

Ao Arquitecto Paisagista Ricardo Ribeiro e ao projecto Arquitecturas do Mar pelas bases cartográficas necessárias à elaboração do estudo.

À professora Selma Pena, pela disponibilidade demonstrada no esclarecimento das várias questões que foram surgindo ao longo da investigação e por ter cedido as componentes da Estrutura Ecológica em falta.

A todos os meus amigos e colegas, em particular ao Daniel, à Mafalda, à Mariana, ao João, à Andreia, à Joana, à Luísa e à Guida pela entreaajuda, apoio e partilha de ideias ao longo da tese.

À Ester e à Rita pela amizade ao longo de todo o meu percurso académico, pela ajuda e motivação durante o desenvolvimento da tese.

Ao Jonas por ter despertado em mim o gosto e a curiosidade pela ciência e a busca pela excelência e pelo rigor.

Aos meus amigos de sempre Carina e Pedro.

Aos meus pais e à minha família por sempre terem acreditado. À Ana, minha irmã, minha amiga e minha companheira pelo apoio e motivação. Muito obrigado.



## RESUMO

O propósito da presente tese consiste na aplicação de um modelo de crescimento urbano baseado em autómatos celulares, o modelo *SLEUTH*, a uma área de 1432,7 km<sup>2</sup> que se centra na Península de Setúbal com o objectivo de avaliar os impactos da Estrutura Ecológica no processo de urbanização para o ano de 2030 de acordo com três cenários distintos, Manutenção das Tendências Actuais, Protecção Ecológica Moderada e Protecção Ecológica Extrema.

Em concreto é feito:

- Um estudo sobre a conservação dos recursos naturais, a evolução do planeamento de base ecológica, e uma abordagem da Estrutura Ecológica.
- A análise do padrão de crescimento urbano da área de estudo desde o final do século XIX até à actualidade;
- Um estudo acerca dos Autómatos Celulares;
- A validação do modelo *SLEUTH* na previsão do crescimento urbano;
- Previsão do crescimento urbano para 2030 de acordo com os diferentes cenários;
- A análise da protecção dos recursos naturais desde 1942 até 2007;
- A Análise das previsões com o objectivo de entender como é que o processo de urbanização afecta as componentes da Estrutura Ecológica e de que forma a Estrutura Ecológica influencia a expansão urbana.

**Palavras-chave:** Autómatos Celulares, Modelo *SLEUTH*, Estrutura Ecológica, Conservação da Natureza, Ordenamento do Território, Península de Setúbal.





# ABSTRACT

The aim of this thesis is to apply a cellular automaton model, SLEUTH, to a 1432,7 km<sup>2</sup> area centered in Península de Setúbal to simulate the impacts of different land use policies projected out to 2030. The study area has experienced rapid and disorganized urban growth in the last decades leading to a great loss of natural resources. Therefore the model was calibrated using a historic time series of 1940, 1963, 1990 and 2007 developed areas and the projections were made according to three different policies scenarios: (1) Current Trends, (2) Moderate Ecological Protection and (3) Extreme Ecological Protection.

This thesis:

- Studies the nature conservation history, the evolution of ecological based planning, specifically Ecological Network and the legal framework in Portugal;
- Studies cellular automaton, highlights the SLEUTH model and reviews the most relevant works based on the model;
- Analyses the urban growth patterns of the study area since XIX century to the current year;
- Analyses the components of Ecologic Network of the study area;
- Tests SLEUTH accuracy;
- Simulates urban growth out to 2030 with the purpose of understanding how the urban growth affects the Ecological Network's components and how Ecological Network influences urban growth patterns according to the three scenarios. The results were analyzed with Fragstats 4.2.

**Keywords:** Cellular Automaton, SLEUTH, Ecological Network, Nature Conservation, Landscape Planning, Península de Setúbal.



## EXTENDED ABSTRACT

In recent years the landscape planning has been taking advantage of spatial analysis methodologies that combines the Geographic Information Systems with urban models based on cellular automata, such as the SLEUTH model.

This model, which has been successfully applied in many metropolitan areas around the world, allows through the generation of urban growth scenarios, the prediction and interpretation of the urban growth patterns and the evaluation of land use and nature conservation policies. This way, SLEUTH acts as a quite useful tool to support decision in the urban management and planning.

In Portugal these studies are still unexplored and in this context arises the interest in applying SLEUTH to evaluate the impacts of the implementation of the Ecological Network developed by Centro de Estudos de Arquitectura Paisagista " Prof. Caldeira Cabral . "

The interest in exploring the protection of natural resources and the Ecological Network comes from the fact that the current economic model in which contemporary society is based on is leading to an exacerbated consumerism that endanger a whole heritage and knowledge itself associated and sedimented over generations. This leads, in most cases, to nature destruction and the decline of natural resources due to fragmentation of ecosystems and loss of biodiversity caused by an unruly and uncontrolled urban growth. Thus has been emerging the need to develop planning policies that follow a sustainable approach in attempt to restore the balance between natural systems and society.

The aim of this thesis is to apply a cellular automaton model, SLEUTH, to a 1432,7 km<sup>2</sup> area centered in Península de Setúbal to simulate the impacts of different land use policies projected out to 2030. The study area was selected due to the profound changes of the urban sprawl that were felt for five decades and have been destroying the biophysical and jeopardizing the existing natural resources. Therefore the model was calibrated using a historic time series of 1940, 1963, 1990 and 2007 developed areas and the projections were made according to three different policies scenarios: (1) Current Trends, (2) Moderate Ecological Protection and (3) Extreme Ecological Protection.

After the projections according to the three different scenarios were made the results were analyzed and showed that in all scenarios the urban growth occurs mainly at the periphery of existing urban centers. The Current Trends scenario generates the highest number of new urbanized cells and leads to substantial soil consumption throughout the study area, with a simultaneous loss of natural resources. In the remaining scenarios the growth is more constrained, especially in the Extreme Ecological Protection scenario.

Trough analysis was possible to understand that the Ecological Network works as an instrument that is able to control efficiently the urban sprawl, preventing an abrupt increase in the average area of

urban spaces. However the Ecological Network leads to a great fragmentation of urban space, but these fragments are more aggregated, less cohesive and less extensive. The greater the restriction values of the Ecological Network components are the more these characteristics are accentuated.

The results obtained in Extreme Ecological Protection and Moderate Ecological Protection scenarios correspond with the aim of PROTAML to adopt a more compact model development in order to counter the extensive and fragmented model that has been followed in recent decades and that would remain if current trends growth continues.

Despite the fact that both Extreme Ecological Protection and Moderate Ecological Protection scenarios meet the criteria of compact city, the scenario that best fits is the Extreme Ecological Protection, since it allows higher aggregation and cohesion of urban space along with greater protection of natural resources.

This application of SLEUTH showed that the Ecological Network works as an instrument that is able to efficiently control the urban sprawl, preventing an abrupt increase in the average area of urban spaces. Also demonstrates that SLEUTH model can be a useful tool in landscape planning because it has a capacity to address a wide range of planning subjects and to promote a more informed decision making in the planning process among the stakeholders.

# LISTA DE SIGLAS

AC – Autómatos Celulares

ADL - Agregação por Difusão Limitada

CEAP – Centro de Estudos de Arquitectura Paisagista “Prof. Caldeira Cabral”

CNA – Comissão Nacional do Ambiente

COS – Carta de Ocupação do Solo

DPH – Domínio Público Hídrico

EE – Estrutura Ecológica

EE1 – Estrutura Ecológica Nível 1

EE2 – Estrutura Ecológica Nível 2

EEM – Estrutura Ecológica Municipal

EPA - *Environmental Protection Agency*

ERPVA - Estrutura Regional de Protecção e Valorização Ambiental

EUA – Estados Unidos da América

MDT – Modelo Digital do Terreno

MTA – Manutenção das Tendências Actuais

PEE – Protecção Ecológica Extrema

PEM – Protecção Ecológica Moderada

PDM – Plano Director Municipal

PNPOT - Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

PROT – Plano Regional de Ordenamento do Território

RAN – Reserva Agrícola Nacional

REN – Reserva Ecológica Nacional

RFCN – Rede Fundamental da Conservação da Natureza

RJIGT - Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial

RNAP – Rede Nacional de Áreas Protegidas

SIG – Sistemas de Informação Geográficos

SLEUTH – *Slope, Landuse, Exclusion, Urban, Transportation, Hillshade*

USGS – *United States Geologic Survey*

ZEC – Zonas Especiais de Conservação

ZPE – Zonas de Protecção Especiais

INTRODUÇÃO .....	1
1.1  JUSTIFICAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2  OBJECTIVOS .....	2
1.3  QUESTÕES DE PESQUISA .....	2
1.4  ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
ESTRUTURA ECOLÓGICA: CONTEXTUALIZAÇÃO E CONCEITOS .....	4
1.1  CONSERVAÇÃO DA NATUREZA: PERSPECTIVA HISTÓRICA .....	4
1.2  PLANEAMENTO DE BASE ECOLÓGICA .....	6
1.3  ESTRUTURA ECOLÓGICA .....	8
1.3.1  CONCEITO E OBJECTIVOS .....	8
1.3.2  ESTRUTURA ECOLÓGICA EM PORTUGAL.....	12
1.3.3  DIREITO DO AMBIENTE: ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DA ESTRUTURA ECOLÓGICA .....	13
MODELOS URBANOS BASEADOS EM AUTÓMATOS CELULARES E O MODELO <i>SLEUTH</i> .....	19
3.1  CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DOS AUTÓMATOS CELULARES .....	19
3.2  DEFINIÇÃO DE AUTÓMATOS CEULUARES E ELEMENTOS CARACTERIZADORES.....	21
3.3  MODELOS URBANOS BASEADOS EM AUTÓMATOS CELULARES .....	22
3.3.1  DESENVOLVIMENTO.....	22
3.3.2  FUNCIONAMENTO .....	24
3.3.3  VANTAGENS E LIMITAÇÕES .....	27
3.4  MODELO <i>SLEUTH</i> .....	29
3.4.1  PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO <i>SLEUTH</i> .....	30
3.4.2  REGRAS DE CRESCIMENTO.....	30
3.4.3  COEFICIENTES DE CRESCIMENTO .....	32
3.4.4  REGRAS DE <i>SELF-MODIFICATION</i> .....	33
3.4.5  <i>INPUTS</i> .....	34
3.4.6  CALIBRAÇÃO.....	35
3.4.7  PREVISÃO .....	37
3.4.8  APLICAÇÕES DO <i>SLEUTH</i> .....	38
CASO DE ESTUDO: PENÍNSULA DE SETÚBAL .....	44
4.1  ÁREA DE ESTUDO .....	44
4.2  EVOLUÇÃO DAS ÁREAS URBANAS DESDE O FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ 2014.....	45
4.2.1  FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ 1940 .....	45
4.2.2  DE 1950 A 1960 .....	45

4.2.3  DE 1960 A 1990 .....	46
4.2.4  DE 1990 ATÉ 2014.....	47
4.3  ESTRUTURA ECOLÓGICA DA PENÍNSULA DE SETÚBAL .....	51
4.3.1  ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 1.....	51
4.3.2  ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 2.....	55
4.4  EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DAS COMPONENTES DA ESTRUTURA ECOLÓGICA PELA EXPANSÃO URBANA .....	57
4.5  METODOLOGIA UTILIZADA NA APLICAÇÃO DO <i>SLEUTH</i> .....	60
4.6  RESULTADOS .....	60
4.6.1  ELABORAÇÃO DOS INPUTS.....	60
4.6.2  VALIDAÇÃO DO MODELO .....	65
4.6.3  CALIBRAÇÃO DO MODELO .....	66
COEFICIENTES DE CRESCIMENTO .....	67
4.6.4  PREVISÃO .....	67
4.7  ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PREVISÃO.....	69
4.7.1  ANÁLISE DO IMPACTO DO CRESCIMENTO URBANO NA PERDA DE RECURSOS NATURAIS.....	71
4.7.2  INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA ECOLÓGICA NO PADRÃO DE CRESCIMENTO URBANO .....	73
CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS .....	77
5.1  CONCLUSÕES .....	77
5.2  LIMITAÇÕES .....	79
5.3  PESQUISAS FUTURAS.....	80
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS.....	89
ANEXO I – INPUTS DO MODELO SLEUTH	



# ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Estrutura da dissertação. Fonte: Autor. ....	3
Fig. 2 - <i>Pan European Ecological Network</i> . Fonte: (European Environment Agency, 2014).....	9
Fig. 3 – Exemplo de uma Máquina de Turing. Este dispositivo apresenta um célula activa podendo apresentar vários estados indicados pela direcção da seta, como consta na figura. Fonte:(Wolfram, 2002).....	19
Fig. 4 – Simulação baseada no Jogo da Vida. As células pretas estão vivas e as células brancas estão mortas, em que $t$ representa o período temporal. Fonte: (Liu, 2009) .....	20
Fig. 5 – a) Vizinhança de von Neumann e b) Vizinhança de Moore. Fonte: Autor .....	21
Fig. 6 – Crescimento urbano gerado por autómatos celulares num terreno plano. Cinzento: Não Urbano; Preto: Urbano; $t$ : Período Temporal. Fonte: (Liu, 2009).....	25
Fig. 7 – Crescimento urbano com restrições no declive do terreno. a) Relevo (preto: mais de 300 metros de cota; cinzento: menos de 300 metros de cota). b) Crescimento urbano (Preto: Urbano; Cinzento: Não-Urbano; $t$ : Período temporal). Fonte: (Liu, 2009) .....	26
Fig. 8 – Crescimento urbano com influência da rede viária. a) Relevo (preto: mais de 300 metros de cota; cinzento: menos de 300 metros de cota). b) Rede de Viária (Linha Cinzenta); Crescimento Urbano (Preto: Urbano; Cinzento: Não-Urbano; $t$ : Período temporal). Fonte: (Liu, 2009) .....	27
Fig. 9 – Exemplo do Crescimento Espontâneo. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998).....	31
Fig. 10 – Exemplo do Crescimento Difuso. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998) .....	31
Fig. 11 – Exemplo do Crescimento Orgânico. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998) .....	32
Fig. 12 – Exemplo do Crescimento Influenciado pela Rede Viária. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior, Linha: Rede viária, Seta: Crescimento movido para a estrada e o seu crescimento. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998).....	32

Fig. 13 – Funcionamento do modelo <i>SLEUTH</i> . Fonte: (Chaudhuri & Clarke, 2013) .....	38
Fig. 14 – Aplicações do modelo <i>SLEUTH</i> em todo o mundo. Fonte: (Chaudhuri & Clarke, 2013) .....	39
Fig. 15 – Avaliação de precisão espacial do <i>SLEUTH</i> . Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b). .....	40
Fig. 16 – Áreas de Exclusão do cenário a) Tendências Actuais, b) Crescimento Controlado e c) Crescimento Ecologicamente Sustentável. Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b). .....	41
Fig. 17 – Simulações do crescimento urbano para 2030 de acordo com os três cenários elaborados (Tendências Actuais; Crescimento Controlado e Crescimento Ecologicamente Sustentável). Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b). .....	42
Fig. 18 – Simulação do crescimento urbano para 2030 de acordo com os cinco cenários desenvolvidos. Fonte: (Candau & Goldstein, 2002b). .....	43
Fig. 19 – Área de Estudo. Fonte: <i>Google Earth</i> . Tratamento: Autor. ....	44
Fig. 20 – Densidade populacional dos concelhos de Almada, Barreiro, Seixal, Palmela, Moita, Alcochete, Sesimbra e Setúbal nos anos de 1940, 1960, 1990, 2001 e 2011. Fonte: (INE, 1945; INE, 1960; INE, 1970; INE, 1991; INE, 2001; INE, 2011) .....	49
Fig. 21 – Evolução da Áreas Urbanas. Fonte:(SROA, 1950; Centro Nacional de Informação Geográfica, 1990; Instituto Geográfico Português, 2011; Instituto Geográfico do Exército, 1938a; Instituto Geográfico do Exército, 1942; Instituto Geográfico do Exército, 1938b; Instituto Geográfico do Exército, 1940). Tratamento: Autor .....	50
Fig. 22 – Evolução da área das Áreas Urbanas. Fonte: (Autor). .....	50
Fig. 23 – Estrutura Ecológica Nível 1 e Nível 2. Fonte: (CEAP, 2013a). Tratamento: Autor. ....	51
Fig. 24 – Estrutura Ecológica Nível 1 com as componentes diferenciadas. Fonte: (CEAP, 2013a). Tratamento: Autor. ....	52
Fig. 25 – Estrutura Ecológica Nível 2 com as componentes diferenciadas. Fonte: (CEAP, 2013b). Tratamento: Autor. ....	56
Fig. 26– Percentagem da área total de cada componente da EE ocupada por áreas urbanizadas. Fonte: Autor .....	58
Fig. 27 – Evolução da área das componentes da EE e das Áreas Urbanas. Fonte: Autor. ....	59
Fig. 28 – Metodologia adoptada para a aplicação do <i>SLEUTH</i> . Fonte: Autor. ....	60
Fig. 29 – Áreas de Exclusão para o cenário da Manutenção das Tendências Actuais.Fonte:Autor. ...	61

Fig. 30– Áreas de Exclusão para o cenário da Protecção Ecológica Moderada. Fonte: Autor. ....	62
Fig. 31 – Áreas de Exclusão para o cenário da Protecção Ecológica Moderada. Fonte: Autor. ....	63
Fig. 32 – Validação do <i>SLEUTH</i> . Fonte: Autor.....	66
Fig. 33 – Simulação do crescimento urbano para 2030 de acordo com a) MTA; b)PEM e c)PEE. ....	69
Fig. 34 – Percentagem da área de cada componente da Estrutura Ecológica ocupada por edificação dos cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: Autor.....	72
Fig. 35 – Evolução da distribuição das componentes da EE e Áreas Urbanas de acordo com os cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: Autor. ....	73
Fig. 36 – Padrão do Crescimento Urbano dos cenários MTA, PEM e PEE. As unidades estão expressas em escala logarítmica de base 10. Fonte: Autor. ....	75

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Terminologias utilizadas para descrever o modelo da estrutura ecológica. Fonte (Figueira, 2010; Rodrigues, 2013). .....	10
Tabela 2– Componentes da Estrutura Ecológica Nível 1 e da Estrutura Ecológica Nível 2. Fonte (Magalhães, 2013).....	13
Tabela 3– Síntese da Rede Fundamental da Conservação da Natureza (Magalhães 2013).. .....	16
Tabela 4 – Modelos baseados em Autómatos celulares utilizados na geração de cenários de crescimento urbano e alterações do uso do solo. Fonte (Costa, 2012). .....	24
Tabela 5 – Área de cada Componente da EE1 e a percentagem que ocupa relativamente à área de estudo. ....	55
Tabela 6 – Área de cada Componente da EE2 e a percentagem que ocupa relativamente à área de estudo. ....	57
Tabela 7 – Área de cada componente da Estrutura Ecológica ocupada por edificação. Fonte (Autor). ....	59
Tabela 8– Valores atribuídos às restrições dos cenários MTA, PEM e PEE. Fonte (Autor). ....	63
Tabela 9 – Valores utilizados para iniciar cada etapa da fase de calibração do <i>SLEUTH</i> . Fonte (Autor).....	67
Tabela 10 – Métricas selecionadas do ficheiro <i>avg_log</i> do modelo <i>SLEUTH</i> . Fonte (Autor).....	70
Tabela 11 – Métricas selecionadas a serem utilizadas no <i>Fragstats</i> . Fonte (McGarigal, 2014; Rodrigues, 2013).. .....	70
Tabela 12 – – Área de cada componente da Estrutura Ecológica ocupada por edificação de acordo com os cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: (Autor). ....	72
Tabela 13 – Métricas resultantes do ficheiro <i>avg_log</i> . Fonte (Autor) .....	73
Tabela 14 – Métricas resultantes da utilização do <i>Fragstats</i> . Fonte (Autor).....	74



### 1.1| JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

Nos últimos anos o ordenamento do território tem vindo a tirar partido das metodologias de análise espacial que combinam os Sistemas de Informação Geográfica com modelos urbanos baseados em autómatos celulares, como é o caso do modelo *SLEUTH*. Este modelo, que já foi aplicado com sucesso em inúmeras áreas metropolitanas em todo o mundo, permite através da geração de cenários prever o crescimento urbano, interpretar padrões de crescimento urbano e testar políticas de uso do solo e de conservação da natureza. Desta forma, este modelo actua como uma ferramenta de apoio à decisão bastante útil na gestão e no planeamento do território na medida em que se consegue tirar proveito das previsões de forma a mitigar problemas e explorar potencialidades.

Contudo estes estudos em Portugal ainda se encontram pouco explorados e desta forma surge o interesse em aplicar o modelo *SLEUTH* para avaliar os impactos da implementação da Estrutura Ecológica desenvolvida pelo Centro de Estudo de Arquitectura Paisagista “Prof. Caldeira Cabral”.

O interesse de explorar a protecção dos recursos naturais e a Estrutura Ecológica advém do facto de o actual modelo económico em que a sociedade contemporânea se baseia assentar num consumismo exacerbado de recursos, comprometendo muitas vezes de forma irremediável, todo um património e conhecimentos a si associados sedimentados ao longo de gerações. Isto traduz-se, na maioria dos casos, na destruição da natureza e na perda de recursos naturais devido à fragmentação dos ecossistemas e à perda de biodiversidade consequência de um crescimento urbano desregrado e descontrolado. Desta forma tem vindo a surgir a necessidade de desenvolver políticas de ordenamento que sigam uma abordagem sustentável na tentativa de restabelecer o equilíbrio entre os sistemas naturais e a sociedade.

Assim, o *SLEUTH* vai ser aplicado a uma área que se centra na Península de Setúbal e gerar múltiplos cenários de crescimento urbano no ano de 2030 com o objectivo principal de entender como é que o processo de urbanização afecta as componentes da Estrutura Ecológica e em que medida a Estrutura Ecológica influencia os padrões de expansão urbana.

A área de estudo foi seleccionada devido às profundas alterações da mancha urbana que se fizeram sentir nas últimas cinco décadas e que têm vindo a destruir o sistema biofísico e a pôr em causa os recursos naturais existentes. Constatou-se que esta região constitui uma área adequada para a estudar diferentes cenários com base na Estrutura Ecológica, os quais restringem o crescimento urbano com objectivo de proteger os recursos naturais existentes da expansão urbana futura.

## 1.2| OBJECTIVOS

A presente tese pretende alcançar os seguintes objectivos:

- Análise do padrão de crescimento urbano desde o final do século XIX até à actualidade da área de estudo;
- Análise das componentes da Estrutura Ecológica na área de estudo;
- Análise da protecção dos recursos naturais ao longo dos anos através do estudo da evolução do conflito entre as áreas urbanas da área de estudo e as diferentes componentes da Estrutura Ecológica desde 1942 até 2007;
- Elaboração e análise de três cenários de crescimento urbano para 2030 recorrendo ao *SLEUTH* com o objectivo de entender como é que o processo de urbanização afecta as componentes da Estrutura Ecológica como é que a Estrutura Ecológica influencia a expansão urbana.
- Validação do modelo *SLEUTH*;
- Perceber se o modelo *SLEUTH* constitui de facto uma ferramenta útil no planeamento e gestão do território.

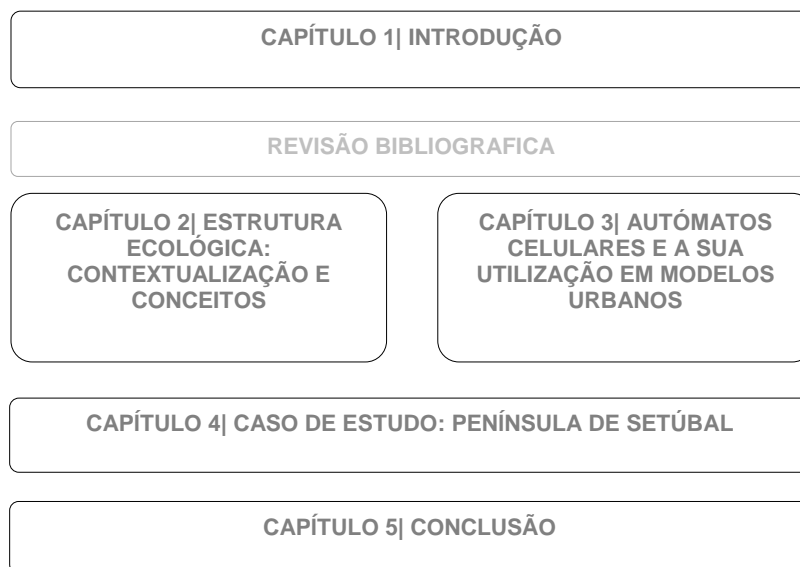
## 1.3| QUESTÕES DE PESQUISA

O estudo desenvolvido baseia-se na procura de respostas para as seguintes questões de pesquisa:

1. **Que padrões de crescimento urbanos se verificaram no passado?**
2. **A protecção dos recursos naturais tem sido respeitada?**
3. **Com que exactidão o modelo *SLEUTH* consegue prever o crescimento urbano?**
4. **Que padrões de crescimento urbano são gerados de acordo com os cenários *Manutenção das Tendências Actuais*, *Protecção Ecológica Moderada* e *Protecção Ecológica Extrema*?**
5. **Qual dos cenários gera um melhor resultado a nível do padrão de crescimento urbano e a nível da protecção dos recursos naturais?**
6. **O modelo *SLEUTH* é efectivamente uma ferramenta útil no planeamento urbano?**

## 1.4| ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente tese encontra-se estruturada em cinco capítulos que se encontram esquematizados na figura 1.



**Fig. 1 – Estrutura da dissertação. Fonte: Autor.**

O primeiro capítulo corresponde à Introdução onde é feita uma contextualização do estudo, a justificação do tema e da área de estudo, os objectivos que se pretendem atingir e ainda a organização do documento.

No capítulo 2 e 3 encontra-se a revisão bibliográfica que integra as duas principais áreas de conhecimento abordadas na tese. O capítulo 2 debruça-se sobre uma resenha histórica da conservação da natureza, planeamento de base ecológica, e uma ampla abordagem da Estrutura Ecológica. Neste capítulo é ainda feito um enquadramento legislativo da Estrutura Ecológica no Direito do Ambiente. O capítulo 3 é dedicado aos Autómatos Celulares e aos modelos urbanos baseados em autómatos celulares, dando ênfase ao modelo *SLEUTH* e sintetiza os estudos realizados em Portugal com base nesse modelo.

No capítulo 4 são postos em prática os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores. É apresentada a área de estudo, é feita uma análise do crescimento urbano desde 1942 até a actualidade, bem como da Estrutura Ecológica. É feita a validação e aplicação do modelo *SLEUTH*. Para terminar este capítulo é apresentada a análise e discussão dos resultados obtidos.

Por último, no quinto capítulo são enunciadas e discutidas as principais conclusões da investigação efectuada, bem como as limitações encontradas e sugestões para futuras pesquisas.



#### 1.1| CONSERVAÇÃO DA NATUREZA: PERSPECTIVA HISTÓRICA

A história da conservação da natureza tem raízes profundas, remontando aos tempos ancestrais da existência do Homem. Alguns historiadores reivindicam que há dois milénios na Índia, algumas áreas eram postas de parte e eram destinadas à proteção dos recursos naturais (Eagles, McCool & Haynes, 2002). Na Europa, à cerca de 1000 anos atrás, algumas áreas eram reservadas para terrenos de caça com o objectivo de proteger as espécies cinegéticas (Eagles, McCool & Haynes, 2002). A ideia de proteger lugares especiais é universal e é passível de ser observado no seio das tradições ancestrais de algumas comunidades como as do pacífico onde se encontram áreas designadas por *tapu*, que significa sagrado/protegido, e em alguns locais em África designados de *sacred groves* (Eagles, McCool & Haynes, 2002).

Dois acontecimentos importantes, ocorridos em 1832 nos Estados Unidos da América, marcaram o movimento em prol da conservação e preservação dos recursos naturais. Em primeiro lugar, a Reserva de *Hot Springs*, actualmente classificada como Parque Nacional, em Arkansas, foi protegida do desenvolvimento privado pelo governo dos EUA. Em segundo lugar, o pintor George Catlin propôs que algumas áreas naturais/selvagens fossem preservadas para que as gerações vindouras pudessem desfrutar dessas paisagens em comunhão com as pessoas nativas desses locais (Pregill & Volkman, 1999).

Em 1864, o estado da Califórnia estabeleceu a primeira reserva natural na área do vale de *Yosemite* destinada ao uso público, que anos mais tarde daria origem ao Parque Nacional de *Yosemite* (Pregill & Volkman, 1999).

A 1 de Março de 1872 foi então criado, através da lei aprovada pelo Congresso dos Estados Unidos, o primeiro Parque Nacional designado por Parque Nacional de *Yellowstone* com uma área aproximada de 800 mil hectares no estado de *Wyoming*. A lei proibia que a área fosse colonizada, ocupada ou vendida (Pregill & Volkman, 1999). Nesta altura os objectivos das áreas protegidas estavam mais focados no recreio e na utilização pelo homem, é apenas mais tarde que se começou a ter uma abordagem diferente apelando mais à conservação da natureza (Pregill & Volkman, 1999).

Vinte anos depois, é fundada a maior e mais antiga organização ambiental, o *Sierra Club* (1892) pelo conservacionista e preservacionista John Muir. Esta organização no início tinha como principal objectivo a protecção da floresta e dos recursos naturais das serras da Califórnia, onde se encontrava o Parque Nacional de *Yosemite* fundado no mesmo ano (McCormick, 1995; Pregill & Volkman, 1999).

No início do século XX ocorreram as celebres lutas chefiadas por John Muir contra o abate da floresta, nomeadamente das sequóias, a campanha a favor da ampliação do Parque *Yosemite* e a

sua última luta contra a construção da grande barragem no vale *Hetch Hetchy* na Califórnia, da qual não saiu vencedor (Schmidt, 2008).

Theodore Roosevelt, admirador da filosofia utilitarista de Pinchot que se tornou o seu principal conselheiro para assuntos relacionados com a conservação dos recursos naturais, foi eleito presidente dos EUA em 1901 (Pregill & Volkman, 1999). Roosevelt, conhecido pelo título de “Presidente Conservacionista”, iniciou uma revolução na política do ambiente e fundou as bases para as actuais políticas da conservação da natureza. Fundou o Sistema Nacional de Refúgios de Aves Selvagens, o Serviço Florestal dos Estados Unidos e criou 55 reservas naturais (Brinkley, 2010).

Na Europa, os movimentos pioneiros de protecção da natureza do século XIX são ingleses, nomeadamente *Commons, Open Spaces and Footpaths Preservation Society* (1865), *East Riding Association for the Protection of Sea Birds* (1867), *Association for the Protection of British Birds* (1870) cujo principal objectivo era proteger o campo da expansão urbana (McCormick, 1995). Estes movimentos surgiram como consequência dos efeitos nefastos provocados pela Revolução Industrial em que a cidade perdeu os seus limites e as áreas urbanas começaram a ocupar os campos e as áreas de maior sensibilidade ecológica. Tudo isto levou à quebra do equilíbrio dinâmico que se estabelecia entre a cidade, que constituía o foco de concentração económica e social, o campo, que fornecia os bens transaccionáveis, e os sistemas ecológicos, que asseguravam a segurança da ocupação e garantiam a preservação das populações de fauna e flora, recursos que eram igualmente utilizados pelas cidades (Rodrigues, 2013).

No ano de 1909 realizou-se em Paris o primeiro Congresso Internacional para a Protecção da Natureza. É no início do século XX que emergem as marcas da tradição colonialista europeia através das primeiras convenções que propunham a protecção da fauna de África, nomeadamente a Convenção para a Preservação de Animais, Pássaros e Peixes em África, assinada em Londres em 1900, fundando as bases para a criação os primeiros Parques nesses locais, a qual Portugal também subscreveria (Flores, 1937; McCormick, 1995).

A fundação da União Internacional da Protecção da Natureza, criada logo após a Segunda Guerra Mundial, em 1948, foi o ponto de partida para uma organização mundial com base científica. Neste período foram feitos esforços para desenvolver uma consciência global para a conservação da natureza, contudo a conservação da natureza internacional continua a ser estabelecida por organizações não-governamentais constituindo um impedimento à concretização desse objectivo (Jongman, 1995). Visto isto, pode-se então assumir que a falta de sensibilização dos agentes políticos constitui igualmente um impedimento à concretização de metas de cariz conservacionista.

A convenção de Ramsar (1971) constitui o primeiro documento internacional que tem como base a ideia de que os *habitats* têm de ser protegidos (Albergaria 2012). Esta Convenção, apesar de extremamente importante, não possui qualquer valor legal na gestão do território, situação que acabou por ser resolvida através da introdução da Directiva de Aves (Directiva 79/409/CEE), em 1979, e da Directiva de *Habitats* (Directiva 92/43/CEE), juntamente com a obrigatoriedade de transposição

de tais políticas para o quadro legal nacional de cada um dos Estados-Membro. A aplicação da Directiva de *Habitats* e da Directiva de Aves resulta na Rede Natura 2000, que constitui o principal instrumento para a conservação da natureza na União Europeia.

Actualmente, um dos temas mais debatidos na área da conservação da natureza e na definição das áreas protegidas é a biodiversidade e o estabelecimento de políticas de ordenamento do território que a suportem. De forma a dar resposta ao problema são identificadas duas estratégias de conservação da biodiversidade, (1) as que actuam sobre as causas que perturbam os *habitats* e (2) as que têm como objectivo o estabelecimento e manutenção de áreas protegidas (Rodrigues, 2013). Para além dessas estratégias, surge também a necessidade de criar continuidades “naturais” como forma de promover a biodiversidade e combater a fragmentação da paisagem iniciada com a Revolução Industrial e acentuada no século XX, que constitui um dos processos mais lesivos para as populações e *habitats* existentes (Rodrigues, 2013; Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013). Este torna-se assim no novo paradigma para a conservação da natureza do século XXI ( Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

## 1.2| PLANEAMENTO DE BASE ECOLÓGICA

Grande parte das políticas de conservação da natureza alicerçaram-se na ecologia, que emergiu como ciência capaz de dar resposta aos problemas ambientais, principalmente devido à sua capacidade de abordar a realidade de forma sistémica (Nucci, 2007; Gomes, 2012). Contudo, não era a ecologia que se debruçava sobre o planeamento territorial, mas sim o planeamento que incorporava alguns conceitos da ecologia (Gomes, 2012) .

A primeira definição de ecologia surge em 1866 por Haeckel, que propõe uma nova disciplina científica para estudar a relação das espécies com o seu mundo orgânico e inorgânico (Haeckel, 1866). Anos mais tarde, em 1988, Odum define ecologia como o estudo da estrutura e do funcionamento da natureza, considerando que a humanidade é uma parte dela (Odum, 1988).

A necessidade de introduzir a natureza na cidade e a emergência de ideologias e conceitos associados aos valores ecológicos no planeamento começaram a surgir na segunda metade do século XIX e início do século XX como reacção a um dos acontecimentos mais marcantes na história da relação do Homem com a natureza, a Revolução Industrial. Este acontecimento trouxe profundas transformações quer a nível social, como económico e ecológico. O desenvolvimento da actividade industrial desencadeou graves problemas de poluição, sobrepopulação e salubridade nas cidades, tornando-se urgente a criação de espaços verdes como solução para melhorar as condições de vida nas áreas urbanas (Magalhães, 2001; Goitia, 1982).

No século XIX surgem as primeiras manifestações às condições de vida atrozes nos *slums*, fruto das emissões poluentes que degradaram a qualidade do ar (provocando um aumento o número de doenças respiratórias), do solo (através do comprometimento de área arável), e da água (devido à

contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos), materializadas através dos primeiros modelos utópicos de cidades colectivas, que continham uma forte sensibilidade higienista, eram planeados para serem auto-suficientes a nível económico e que combinavam a agricultura com a actividade industrial. Um dos primeiros modelos foi a cidade *New Harmony*, em 1816, planeada por Robert Owen e ainda outros exemplos como os Falanstérios idealizados pelo filósofo Charles Fourier (Goitia, 1982), a Cidade Linear de Soria e Mata, ou a Cidade Jardim de Ebenezer Howard (Magalhães, 2001).

Em 1890 nos EUA, Frederick Law Olmstead propôs um plano para Brooklyn e mais tarde para Boston conhecido como “Colar de Esmeraldas” em que se fazia a ligação entre os vários parques urbanos através de corredores verdes. Este projecto tinha também como propósito assegurar as funções de drenagem da cidade aquando das inundações do rio Charles (Jongman & Pungetti, 2004) (Mell, 2008). Olmsted é considerado por muitos Autores o pai do *greenway movement*, apesar deste movimento apenas ter ganho notoriedade nos anos 60 com Rachel Carson e Ian McHarg (Figueira, 2010).

Em 1898 na Inglaterra, Ebenezer Howard desenvolveu o conceito de *Green Belt* para a manutenção de espaços verdes envolventes da cidade com cerca de 8 km de extensão com o objectivo de controlar o crescimento urbano em Londres (Jongman & Pungetti, 2004).

Olmstead e Howard foram considerados os pioneiros na exploração da relação entre as capacidades ecológicas e as oportunidades sociais que uma área pode fornecer. Os seus trabalhos, descritos anteriormente, foram fundamentais para o desenvolvimento das ideias que mais tarde deram origem à Estrutura Ecológica (Figueira, 2010).

É então em 1924 que a conservação da natureza e o desenvolvimento urbano juntaram forças com o Congresso Internacional de Desenvolvimento Urbano em Amsterdão, onde foi declarado que a natureza era fundamental para o recreio devido à sua beleza cénica e aos seus valores intrínsecos (Jongman & Pungetti, 2004).

Em 1929, com a formulação do conceito de *homeostasis* por Walter Cannon veio permitir solidificação do modelo de Estrutura Verde Urbana iniciado por Olmsted, com o “Colar de Esmeraldas”, e dá origem ao conceito de Continuo Natural (Magalhães, 2001).

Após a Segunda Guerra Mundial, na Europa, a preocupação com os valores naturais acentua-se como resposta aos impactos gerados pelo desenvolvimento científico-tecnológico, industrial e pelo consumo em larga escala dos recursos naturais. Desta forma, a conservação da natureza focou-se mais na preservação dos valores das paisagens seminaturais, principalmente nos países do norte da Europa onde o declínio da natureza era mais evidente (Jongman & Pungetti, 2004).

McHarg, em 1967, com o livro “*Design with Nature*” contribuiu significativamente para o desenvolvimento do planeamento de base ecológica, referindo pela primeira vez a importância de integrar os processos e factores biofísicos com as actividades humanas, promovendo também o

conceito de aptidão ecológica (Silva, 2011). A aptidão ecológica é definida como “*as diferentes potencialidades que os diferentes espaços, caracterizados por um funcionamento ecológico diferenciado, oferecem à implantação das actividades humanas e que portanto, devem determinar a sua localização*”, permitindo seguir uma nova direcção para os processos de planeamento no que diz respeito à sua componente ecológica (Gomes, 2012).

No ano da Conservação da Natureza, 1970, surgiu o conceito de *ecological city* e procedeu-se também a algumas alterações na conservação da natureza na Europa ocidental como a correcção da legislação existente bem como a formulação de novas políticas da conservação da natureza mais integradas relacionando várias matérias como o recreio, a urbanização, planeamento regional e agricultura (Jongman & Pungetti, 2004).

As alterações do uso do solo juntamente com os impactes que provocam no ambiente e na natureza somados à afirmação da ecologia da paisagem impulsionaram, na década de 80, o desenvolvimento de abordagens integradas no planeamento que incluem conceitos ecológicos (Jongman & Pungetti, 2004; Gomes, 2012).

Como já foi referido, o novo paradigma do século XXI no que diz respeito à conservação da natureza assenta na necessidade de criar continuidades naturais na paisagem como resposta à fragmentação que teve origem na Revolução Industrial (Magalhães, 2013). A fragmentação da paisagem causada por barreiras físicas com origem no aumento da construção de edifícios, vias de comunicação e emparcelamento de terras e também pela diminuição de elementos da paisagem como florestas de pequenas dimensões, orlas e zonas ripícolas, provocam a diminuição da área de *habitat* que poderá conduzir à extinção local de populações e consequentemente à diminuição da biodiversidade (Jongman & Pungetti, 2004). A ecologia da paisagem e a ecologia urbana mostraram que as áreas isoladas por si só não fornecem protecção e gestão adequada da sustentabilidade física e da biodiversidade a longo prazo justificando a necessidade de se criarem ligações ou continuidades verdes (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

### 1.3| ESTRUTURA ECOLÓGICA

#### 1.3.1| CONCEITO E OBJECTIVOS

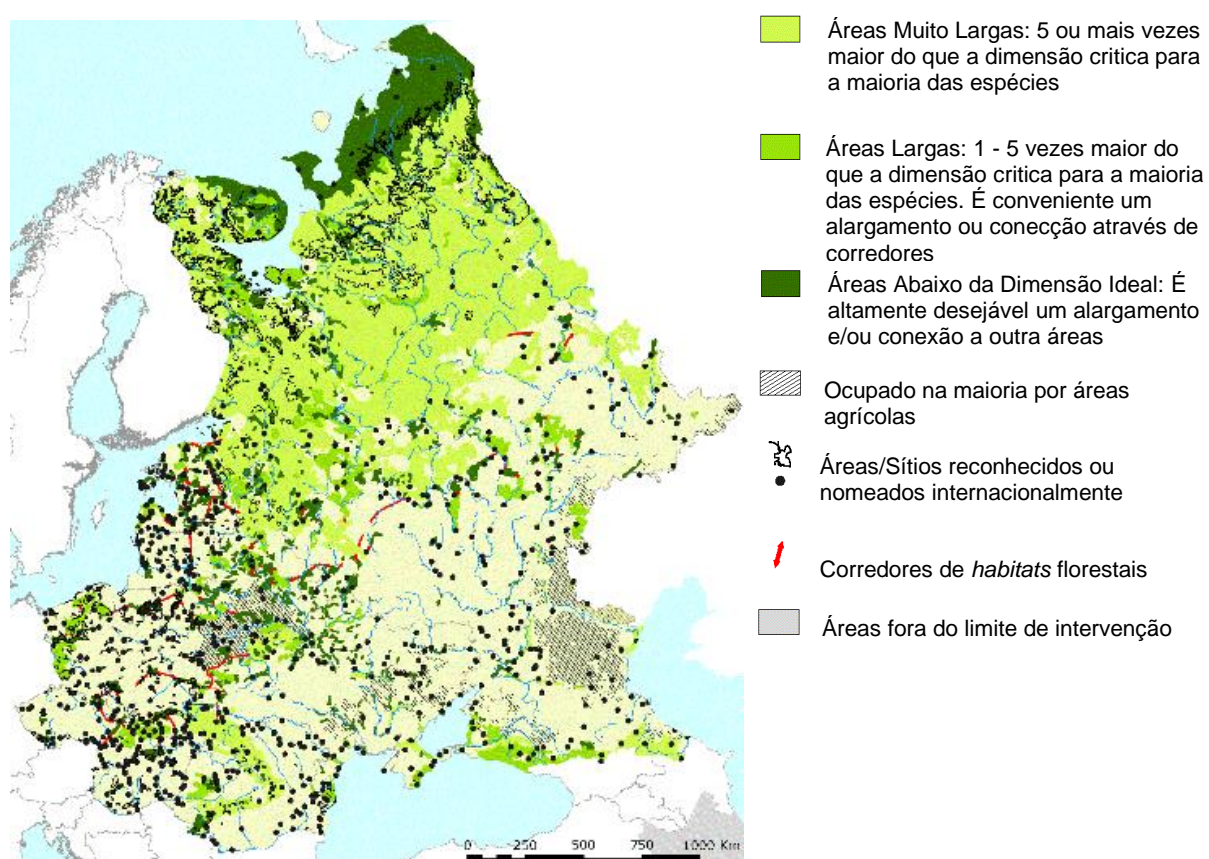
A Estrutura Ecológica resulta da combinação entre o planeamento e a ecologia e consiste num modelo que tem sido desenvolvido ao longo dos últimos 30 anos, cujo objectivo é a manutenção da integridade dos processos ambientais. Na Europa central e oriental, vários programas de Estruturas Ecológicas nacionais foram desenvolvidos na década de 1980 inspirados na teoria da paisagem polarizada do geógrafo russo Boris Rodoman. De acordo com esta teoria, a abordagem eco-estabilizadora propunha que a paisagem fosse dividida em zonas de maneira a que as áreas que tenham um uso mais intensivo sejam equilibradas pelas zonas naturais que funcionam como Autorreguladoras do todo. O resultado destes programas não só permitiram o desenvolvimento das primeiras Estruturas Ecológicas como integraram a conservação da biodiversidade nos planos de

gestão ambiental, aproximando-se ao que hoje se conhece como estratégias de desenvolvimento sustentável (Bennett & Mulongoy, 2006).

Na maioria das restantes regiões o modelo da Estrutura Ecológica evoluiu de acordo com a teoria do equilíbrio da biogeografia de ilhas e na teoria das metapopulações de MacArthur e Wilson. As conclusões mais importantes destas teorias foram que a fragmentação dos *habitats* aumentam a vulnerabilidade das populações devido à redução da área de habitat disponível para as populações locais e que limitam as oportunidades de dispersão, migração e trocas genéticas (Bennett & Mulongoy, 2006).

Durante os anos 90, os programas regionais e nacionais que tinham como objectivo integrar as áreas protegidas em redes mais extensas foram desenvolvidos em muitos países da Europa Ocidental, América do Norte, América Latina, Austrália e Ásia (Bennett & Mulongoy, 2006).

Em 2001 estavam a decorrer mais de mil projectos de delimitação e implementação de estruturas ecológicas que vão desde escalas nacionais até escalas continentais e intercontinentais, como a *Pan European Ecological Network* (Bennett & Wit, 2001).



**Fig. 2 - Pan European Ecological Network. Fonte: (European Environment Agency, 2014)**

Devido aos diversos objectivos a que se destinam existem um número muito vasto de termos que são utilizados para descrever o modelo da Estrutura Ecológica, que variam de país para país:

**Tabela 1 – Terminologias utilizadas para descrever o modelo da Estrutura Ecológica.**Fonte: (Figueira, 2010; Rodrigues, 2013).

TERMO	DEFINIÇÃO	AUTORES	EXEMPLOS
REDE ECOLÓGICA	Sistema de reservas naturais e as suas interconexões que faz com que o sistema natural fragmentado seja coerente, de modo a suportar uma maior diversidade biológica	Rob Jongman	Plano Físico, Província de Norte Bradant, Holanda
GREENWAY	Espaços abertos lineares que preservam e restauram a natureza nas cidades, subúrbios e áreas rurais	Chuck Flink	Rio Boise, EUA
	Corredores com várias larguras ou formas conectados numa rede, em analogia com as infraestruturas viárias	Julian Fabos	Plano de Greenways do Rio Niágara, EUA
	Corredores que promovem conexões formando um sistema integrado de espaços abertos na cidade ou região	Ryder	Greenway Guangdong, China
INFRA-ESTRUTURA VERDE	Sistema de suporte da vida natural que conecta redes de linhas de água, zonas húmidas, habitats e outras áreas naturais, assim como corredores verdes, parques, áreas agrícolas, florestas e outras que suportam as espécies nativas, os processos ecológicos naturais, sustentam os recursos de água e ar e contribuem para a saúde e qualidade de vida das pessoas	Benedict & McMahon	Cidade da Filadélfia, EUA  GreenPrint, Maryland, EUA
CORREDOR DE VIDA SELVAGEM	Elementos lineares da paisagem natural que ligam habitats promovendo os fluxos e os processos ecológicos	Harris	<i>Paseo Pantera</i> , América Central
GRÜNZÜCE	Corredores verdes multifuncionais que conectam as áreas urbanizadas à paisagem natural, formando uma rede	von Haaren & M. Reich	Alemanha
REDE DE HABITATS	Corredores de habitats e <i>stepping stones</i>	von Haaren & M. Reich	Alemanha
INFRA-ESTRUTURA VERDE URBANA	Organizada em torno da rede hidrológica e de drenagem, complementando-se e ligando áreas verdes com a infraestrutura construída, promovendo funções ecológicas	Jack Ahern	Taizhou, China  Staten Island, EUA
GREENWAY URBANO	Corredores naturais que ligam espaços abertos de maiores dimensões, promovendo a conservação dos recursos naturais e o recreio	Jack Ahern	
BIORREGIONAL PLANNING	Planeamento e gestão dos processos ecológicos e da biodiversidade a uma escala biorregional (área geográfica delimitada com base em critérios ecológicos, ambientais e sociais)	Bennet	EUA
CONNECTIVITY CONSERVATION AREAS	Ligações regionais que se destinam a facilitar a circulação de animais e outros fluxos essenciais da paisagem	IUCN	

RESERVE NETWORK	Conservar a biodiversidade à escala regional, especialmente em áreas de vida selvagem e com uma aplicação crescente nas áreas urbanas	Bennet	América do Norte
TERRITORIAL SYSTEM OF ECOLOGICAL STABILITY	Conjunto de ecossistemas interligados, naturais ou semi-naturais que preservam o equilíbrio da natureza	Roth	Países checos
ESTRUTURA ECOLÓGICA MUNICIPAL	Conjunto de áreas, valores e sistemas fundamentais para a proteção e valorização ambiental dos espaços rurais e urbanos, designadamente as áreas de reserva ecológica	Artigo 14.º do Decreto-Lei n.º 380/99	

Apesar de existirem variadas terminologias para o modelo há um conjunto de características que são comuns a todos (Bennett & Mulongoy, 2006):

- Conservar a biodiversidade à escala dos ecossistemas da paisagem ou à escala regional;
- Manter ou reforçar a coerência ecológica, principalmente através da disponibilização de ligações;
- Garantir a protecção das áreas críticas contra os potenciais danos causados por factores externos;
- Restaurar ecossistemas degradados;
- Promover a sustentabilidade do uso dos recursos naturais em áreas com importância para a conservação da biodiversidade.

A Estrutura Ecológica tem dois objectivos principais, (1) manter o funcionamento dos ecossistemas como forma de facilitar a conservação das espécies e *habitats* e (2) promover a sustentabilidade do uso dos recursos naturais de maneira a reduzir os impactes das actividades humanas na biodiversidade e/ou aumentar o valor da biodiversidade da paisagem (Bennett & Wit, 2001).

Relativamente à sua composição podem identificar-se dois critérios distintos (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013):

1. Critério Predominantemente Biológico, feito através de Áreas Nucleares que se destinam à conservação da biodiversidade, que são interligadas através de Corredores e Zonas Tampão que protegem a estrutura da influência dos danos potenciais externos e fazem a transição entre as áreas protegidas e as restantes áreas designadas por Áreas de Uso Sustentável.

2. Criterio Ecológico, que integra, numa estrutura, os dois grandes subsistemas naturais da paisagem: físico e biológico, necessários à salvaguarda dos recursos naturais e à sustentabilidade da utilização da paisagem. A conservação da biodiversidade segundo este critério deve ser alcançada por meio de um instrumento que reúna todas as componentes da paisagem.



### 1.3.2| ESTRUTURA ECOLÓGICA EM PORTUGAL

Andresen considera que a Reserva Ecológica Nacional (REN) ocupa uma posição pioneira na concepção e aplicação do conceito de Estrutura Ecológica *“embora se considere que, internacionalmente, tal não esteja ainda devidamente reconhecido e internamente tenha sido um processo sujeito a interpretações pouco correctas podendo-se mesmo considerar que houve desvirtuamento da ideia inicial”* (Andresen & et al., 2004). Isso deve-se ao facto de que o princípio base da REN, defendido desde a década de 40 por Francisco Caldeira Cabral e mais tarde consagrado na Lei de Bases do Ambiente, de promoção do *continuum naturale*, é assegurado no primeiro diploma pelo litoral, linhas de água e faixas contíguas às estradas nacionais. Contudo esta ideia de *continuum naturale* deixou de ser considerada no diploma de 1990 e desta forma alguns Autores acham redutor considerar a REN como uma Estrutura Ecológica (Gomes, 2012; Figueira, 2010; Albergaria, 2012). Ainda assim, embora a REN não cumpra todos os objetivos estratégicos associados à Estrutura Ecológica e apesar das sucessivas deturpações operadas no respetivo Regime Jurídico, esta continua a ser uma componente fundamental na formulação de uma Estrutura Ecológica.

O conceito de Estrutura Ecológica utilizado em Portugal é baseado no Critério Ecológico enunciado anteriormente, e é descrito como:

*“Um conceito espacial, entendido como uma estrutura planeada, concebida e gerida para diversos fins, assente em componentes ecológicas que fornecem as condições físicas e biológicas necessárias à manutenção ou conservação das funções ecológicas favorecendo a diversidade biológica da paisagem e promovendo o uso sustentável dos recursos naturais”* (Magalhães, 2013).

O conceito de Estrutura Ecológica, com esta designação foi utilizado pela primeira vez no Plano Verde de Lisboa em 1992-1993 coordenado por Ribeiro Telles (Figueira, 2010).

Relativamente à delimitação da Estrutura Ecológica, esta é feita através da metodologia Sistema-Paisagem que se baseia no conceito de sistema apoiado na ligação vertical e horizontal de estruturas, em que a principal função é a de ligar ecossistemas a um sistema que seja espacialmente coerente, através do fluxo de energia, matéria e organismos (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

A EE é composta por dois sistemas principais, um sistema físico que diz respeito às componentes geologia/litologia, solo, água e clima, bem como às suas interações, e um sistema biológico que inclui habitats, flora e vegetação e as suas interações com as componentes do sistema físico (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

A Estrutura Ecológica encontra-se hierarquizada em dois níveis, Estrutura Ecológica Nível 1 e Estrutura Ecológica Nível 2, de acordo com o valor ou grau de sensibilidade ecológica atribuída a cada componente (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

**Tabela 2 – Componentes da Estrutura Ecológica Nível 1 e da Estrutura Ecológica Nível 2. Fonte: (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013)**

COMPONENTES		SUBSISTEMA	SISTEMA
ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 1	Linhas e Massas de Água	Água	Físico
	Sistema Húmido	Morfologia do Terreno	
	Sistema Litoral		
	Áreas Declivosas		
	Solo de Muito Elevado e Elevado Valor Ecológico	Solo	
	Geossítios	Geologia/Litologia	
	Vegetação Natural e Semi-natural com Valor de Conservação Muito Elevado e Elevado	Vegetação	Biológico
	Áreas de Conservação da Natureza	Conservação da Natureza	
	ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 2	Cabeços em Sistema Húmido Antigo	Morfologia do Terreno
Terras Altas (>700 m)			
Áreas de Máxima Infiltração		Geologia/Litologia/Solo	
Zonas Expostas aos Ventos Dominantes		Clima	
Litoral Climático			
Vegetação Natural e Semi-natural com Valor de Conservação Moderado, Baixo e Muito Baixo		Vegetação	Biológico

### 1.3.3| DIREITO DO AMBIENTE: ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DA ESTRUTURA ECOLÓGICA

A preocupação com a protecção de componentes ambientais remonta ao artigo 223º da Constituição de 1822, no qual constava que o dever plantar árvores nos baldios e nas terras dos concelhos era atribuído às câmaras municipais. Em 1864 surge o Domínio Público Hídrico (DPH) que tinha como objectivo a protecção do leito, margem do mar ou rios, a protecção das arribas como consta no Decreto Real de 22, de Março de 1868 e ainda a protecção de algumas espécies autóctones de grande valor económico e ecológico, nomeadamente o sobreiro, azinheira e oliveira através do Decreto nº 3387, de 26 de Setembro de 1917 (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

No “Ano da Conservação da Natureza” surgiu em Portugal a lei nº 9/70, de 19 de Junho, que representou um passo determinante para a concretização de medidas de conservação da natureza em Portugal. Esta lei definiu as diferentes tipologias e os objectivos das áreas protegidas,

constituindo o diploma legal que deu resposta à preocupação com o ambiente. Como consequência desta lei, no ano seguinte foi criada a primeira área protegida em território continental: o Parque Nacional da Peneda-Gerês (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

Em 1971, tendo em vista a participação de Portugal na Conferência de Estocolmo, surge a primeira estrutura estatal para o Ambiente, a Comissão Nacional de Ambiente (CNA), na esfera da Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, tendo-se tornado posteriormente autónoma (Baila Antunes, s.d.).

Em 1974, fundou-se a Secretaria de Estado do Ambiente cujo primeiro titular foi o Arquitecto Paisagista Gonçalo Ribeiro Telles, inicialmente com poderes quase nulos mas que foi progressivamente ganhando capacidade de intervenção. Ribeiro Telles, em 1975, propôs os seguintes diplomas (Baila Antunes, s.d.):

- Decreto-Lei nº 343/75 que disciplinava certas actuações na utilização dos solos e da paisagem;
- Decreto-Lei nº 356/75 que proibia a edificação ou escavação em solos A, B e Ch;
- Decreto-Lei nº 357/75 que protegia o relevo natural, solo arável e o revestimento vegetal;
- Portaria 235/75 que proibia a arborização em solos com Capacidade de Uso Agrícola A, B, C e condiciona-a nos solos D e E.

É ainda importante de referir que durante essa legislatura, o Arquitecto Paisagista António Viana Barreto, que ocupou o cargo de Director-Geral de Ordenamento, desempenhou um papel fundamental para as reformas operadas nesse período (Barreto, 2011).

Em 1976 foi reconhecido o direito e deveres na área do ambiente na Constituição da Republica Portuguesa. No artigo 9º da actual Constituição consta que “ *São tarefas fundamentais do Estado: (...) Proteger e valorizar o património cultural do povo português, defender a natureza e o ambiente, preservar os recursos naturais e o ambiente, preservar os recursos naturais e assegurar um correcto ordenamento do território*” e no artigo 66º: “ *Todos têm direito a um Ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.*”

No mesmo ano, a Lei n.º 9/70 foi revogada pelo Decreto-Lei n.º 613/76, em que se mantém a definição de Parque Nacional e são acrescentados os conceitos de áreas especiais, áreas ecológicas, agrícolas, florestais, áreas degradadas a recuperar e áreas de reserva de subsolo. Em 1993 o Decreto-Lei referido anteriormente é revogado pelo Decreto-Lei nº.19/93, de 23 de Janeiro.

A REN foi criada pelo Decreto-Lei nº 321/83 sofreu várias alterações por diversos Decretos-Lei sendo a última alteração feita pelo Decreto-Lei nº 239/2012, de 2 de Novembro. Como consta no nº 1 do artigo 2º do Capitulo I do Decreto-Lei anteriormente referido, a REN é definida como “*uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial*”. As áreas a integrar na REN, conforme se encontra no artigo 4º do Capitulo II, secção I são: “*áreas de protecção*

*do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade da componente terrestre do ciclo hidrológico e áreas de prevenção de riscos naturais: zonas adjacentes, zonas ameaçadas pelo mar e pelas cheias não classificadas como zonas adjacentes, áreas de elevada erosão hídrica do solo, áreas de instabilidade de vertentes”.*

A Reserva Agrícola Nacional (RAN) foi estabelecida pelo Decreto-Lei nº 451/82 modificado pelo Decreto-Lei nº73/2009 de 31 de Março, que procede à revisão do regime jurídico da RAN. A RAN é definida como *“um conjunto de áreas em termos agro-climáticos, geomorfológicos e pedológicos apresentam maior aptidão para a actividade agrícola”* conforme consta no nº1 do artigo 2º do capítulo I do Decreto-Lei citado anteriormente e integra as áreas com solos de Capacidade de Uso das classes A, B e Ch, solos de baixas aluvionares e coluviais e ainda por outros solos que estejam em complexo com os mencionados anteriormente (artigo 8º).

O DPH, que teve origem em 1864, ficou ao abrigo do Decreto-Lei nº 468/71, de 5 de Novembro tem como objectivo a protecção do meio aquífero de Portugal. O Decreto-Lei anteriormente mencionado foi revogado em 2005 pela Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos (Lei nº 54/2005, de 15 de Novembro) e pela Lei da Água (lei nº 58/2005, de 29 de Dezembro) que transpôs a para a ordem jurídica Directiva Quadro da Água (Directiva nº 2000/60/CEE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro) e estabeleceu as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. De acordo com o n.º 1 do artigo 2º da Lei 54/2005, de 15 de Novembro, o DPH inclui o domínio público marítimo, domínio público lacustre e fluvial e o domínio público das restantes águas. Consideram-se do domínio público e do Estado as *“águas territoriais com os seus leitos e fundos marinhos contíguos, bem como lagos, lagoas e cursos de água navegáveis e flutuáveis, com respectivos leitos”*.

Em 1987 é instituída a Lei de Bases do Ambiente (LBA) (Lei nº11/87 de 7 de Abril) e a última modificação ocorre em 2014 com a Lei n.º 19/2014, de 14 de Abril. A LBA veio consolidar os conceitos e instrumentos anteriormente indicados na legislação e atribuiu-lhes força de Lei. Esta lei considera como instrumentos do ordenamento do território a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza, a REN e a RAN que, juntamente com o DPH, compõem as principais restrições de utilidade pública (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013).

A Rede Natura 2000, resulta da aplicação da Directiva de Aves ( Directiva 79/409/CEE do Conselho, de 2 de abril de 1979), posteriormente revogada pela Diretiva 2009/147/CEE, de 30 de Novembro, e da Directiva de *Habitats* (Diretiva 92/43/CEE). A Rede Natura 2000, que foi transposta para a lei portuguesa através do Decreto-Lei n.º 140/99 de 24 de Abril, consiste numa rede ecológica para o espaço comunitário da União Europeia que tem como objectivo garantir a conservação das espécies de flora e fauna e dos *habitats* naturais que se encontram mais ameaçados. Esta constitui o principal instrumento para a conservação da natureza na União Europeia e reúne duas tipologias de protecção (ICNF, s.d.):

1. Zonas de Protecção Especial (ZPE) estabelecidas ao abrigo da Diretiva Aves, que se destinam essencialmente a garantir a conservação das espécies de aves, e seus *habitats* e das espécies de aves cuja ocorrência seja regular.
2. Zonas Especiais de Conservação (ZEC) criadas ao abrigo da Diretiva Habitats, com o objetivo expresso de "*contribuir para assegurar a biodiversidade, através da conservação dos habitats naturais e dos habitats de espécies da flora e da fauna selvagens considerados ameaçados no espaço da União Europeia*".

Em 2008, criou-se a Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN) através do Decreto-Lei n.º 142/2008, de 24 de Julho prevista na Estratégia Nacional de Conservação da Natureza (Resolução do Conselho de Ministros nº 152/2001, de 11 de Outubro). Esta figura é definida como uma infraestrutura básica da natureza constituída por áreas nucleares de conservação da natureza e biodiversidade que integram o Sistema Nacional de Áreas Classificadas e corredores ecológicos que correspondem às Restrições de Utilidade Pública, cujo objectivo é a protecção dos recursos naturais e a promoção da continuidade espacial.

**Tabela 3 – Síntese da Rede Fundamental da Conservação da Natureza. Fonte: (Magalhães & Cunha in Magalhães, 2013).**

REDE FUNDAMENTAL DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA		
SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS CLASSIFICADAS	Áreas Nucleares	Áreas Protegidas (RNAP)
		Rede Natura 2000
		Sítios Ramsar
		IBA's
		Reservas da Biosfera
		Reservas Biogenéticas
		Geossítios
ÁREAS DE CONTINUIDADE	Corredores	REN
		RAN
		DPH

A Estrutura Ecológica foi integrada no sistema jurídico português pela primeira vez no Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) (Decreto-Lei nº 380/99 de 22 de Setembro) cuja última alteração foi introduzida Decreto-Lei n.º 181/2009, de 7 de Agosto. A EE é definida como um recurso territorial como consta no artigo 10º do Decreto-Lei n.º 316/2007 e compreende um conjunto de áreas, valores e sistemas fundamentais para a protecção e valorização ambiental dos espaços rurais e urbanos, designadamente as áreas de reserva ecológica (artigo 14º do Decreto-Lei nº46/2009, de 20 de Fevereiro). De acordo com o n.º 2 do artigo 14º do Decreto-Lei nº46/2009, de 20 de Fevereiro, são o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), os Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT), Planos Intermunicipais de Ordenamento do

Território e os Planos Sectoriais que definem os princípios, directrizes e as medidas que concretizam as orientações políticas relativas às áreas de protecção e valorização ambiental.

A nível nacional não é contemplada qualquer delimitação da Estrutura Ecológica. A nível regional encontra-se prevista a delimitação da Estrutura Regional de Protecção e Valorização Ambiental (ERPVA) nos PROT como consta na alínea d) do artigo 53 do Decreto-Lei nº 46/2009. Se os PMOT forem incompatíveis com a ERPVA, delimitada em PROT posteriormente aprovado, procede-se à sua alteração (artigo nº 97 do Decreto Regulamentar nº 11/2009). A nível municipal, “a EE incide em qualquer categoria ou subcategoria de solo rural ou urbano, com um regime de uso adequado às suas características e funções e não constitui uma categoria autónoma” (alínea 3 do artigo 11º do Capítulo III do Decreto Regulamentar nº 11/2009/). Isto significa que a EEM em solo rural integra as áreas de solo afectas à RFCN no território do município e as áreas naturais sujeitas a riscos e vulnerabilidades e no interior dos perímetros urbanos, a EEM integra os espaços verdes de utilização colectiva e outros espaços, de natureza pública ou privada, necessários ao equilíbrio, protecção e valorização ambiental, paisagística e do património natural do espaço urbano (Magalhães 2013).

**Tabela 4 – Equivalência entre as figuras do sistema legal e as componentes da Estrutura Ecológica (Magalhães & Cunha in Magalhães, 2013).**

SISTEMA LEGAL	COMPONENTES DA ESTRUTURA ECOLÓGICA
Domínio Público Hídrico	Leitos
Reserva Ecológica Nacional	Margens
Reserva Ecológica Nacional	Sistema Húmido Áreas de Máxima Infiltração Áreas Declivosas Áreas Costeiras
Reserva Agrícola Nacional	Solos de elevado e muito elevado valor ecológico
Directiva <i>Habitat</i>	Vegetação com interesse para conservação
Rede Natura 2000	Sítios de interesse biológico

A legislação anteriormente mencionada veio trazer vários benefícios, nomeadamente:

- Permite integrar, no mesmo plano, o planeamento urbano com o planeamento de base ecológica (Gomes, 2012);
- Salvaguarda de bens e pessoas perante riscos ambientais (Rodrigues, 2013);
- Impede que o crescimento urbano se faça de uma forma desorganizada e desregulada;
- Preservação e conservação dos recursos naturais, da biodiversidade e do meio ambiente.

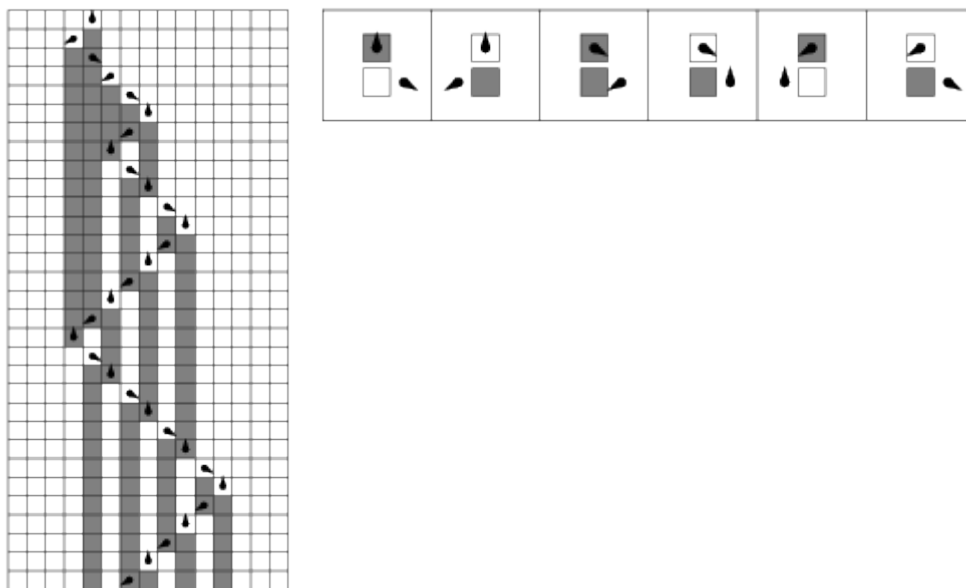
Contudo, a legislação é alvo de diversas críticas:

- Na RAN e na REN, os solos situados dentro das áreas urbanas estão excluídos desta classificação, pondo em causa a sustentabilidade das mesmas;
- A relação entre solos mais evoluídos pedologicamente e uma alta produtividade agrícola é bastante controversa e é contestada por vários especialistas, nomeadamente Sidónio Pardal (Pardal, 2002);
- RAN e a REN têm um carácter excessivamente proibitivo não atendendo às necessidades do contexto socioeconómico (Pardal, 2002; Magalhães, 2007);
- De forma a contornar o carácter proibitivo da REN podiam ser propostos usos e actividades compatíveis com este regime, à semelhança do que foi feito em 1997. Contudo um quadro de compatibilidades não resolve a questão uma vez que o problema reside no facto da REN não partir de uma lógica de usos do solo, de ignorar as dinâmicas sociais de ocupação, uso e transformação do solo. Para além disso, isto iria criar um poder administrativo unilateral sobre vários sectores e actividades sócio-económicas (Pardal, 2006).
- A REN parece proteger sistemas físicos em detrimento dos biológicos (Gomes, 2012), os quais obrigariam a um processo de monitorização e acompanhamento que a administração pública não tem conseguido oferecer;
- A REN integra realidades bastante distintas e trata-as de igual forma (Ferreira, 2004a), ignorando assim a diversidade do nosso país à escala regional;
- Existência de diversos instrumentos legais com regimes de utilização distintos, geridos por diferentes instituições e com diferentes designações, mostra que o conceito de EE é mal-entendido, como se de coisas diferentes se tratasse, dependendo da escala, não sendo encarado como uma entidade única (Magalhães, 2013);
- A definição legal da EE no que diz respeito aos critérios de delimitação e a composição são bastante vagos e omissos em todas as escalas de planeamento. Sendo apenas o único dado objectivo o dever da EE de integrar a REN (Magalhães, 2013);
- Apesar do RJIGT determinar a delimitação da EE em todas as escalas dos instrumentos de Gestão Territorial, o PNPT não a delimita e remete-a para a RFCN (Magalhães, 2013), sendo que esta figura procede a uma sobreposição *tout court* de diversos instrumentos de gestão territorial sem o necessário ajustamento e regulamentação;
- A Rede Natura 2000 e a RNAP centram as suas preocupações na ordem do biológico e não respondem às necessidades do *continuum naturale* (Gomes, 2012);
- A Rede Natura 2000 estabelece as bases para a protecção e conservação da fauna selvagem e dos *habitats* no entanto, não estando definido o seu plano sectorial, ainda não é possível perceber como se pretende atingir tais objectivos (Gomes, 2012);
- Incoerências burocráticas entre a Rede Nacional de Áreas Protegidas, o Domínio Público Hídrico e as RUP, encaminham à existência uma sobreposição de responsabilidades, provocando uma lacuna competitiva das áreas sujeitas a tais regimes (Rodrigues, 2013).

### 3.1| CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DOS AUTÓMATOS CELULARES

Os autómatos celulares (AC) estão entre os modelos mais antigos de computação baseados em processos naturais, com mais de meio século remontam ao início da computação digital (Kari, 2005). O seu desenvolvimento está relacionado com estudo dos sistemas do tipo caótico, auto-organização e fenómenos complexos (Silva, 2002).

Em 1936, o matemático britânico Alan Turing descreve no artigo “*On computable numbers*” a Máquina de Turing que expressa já algumas ideias dos autómatos celulares. A máquina de Turing é apenas um dispositivo teórico e é descrita como sendo capaz de calcular tudo o que seja computável independentemente da complexidade (Turing, 1936).



**Fig. 3 – Exemplo de uma Máquina de Turing. Este dispositivo apresenta um célula activa podendo apresentar vários estados indicados pela direcção da seta, como consta na figura. Fonte:(Wolfram, 2002)**

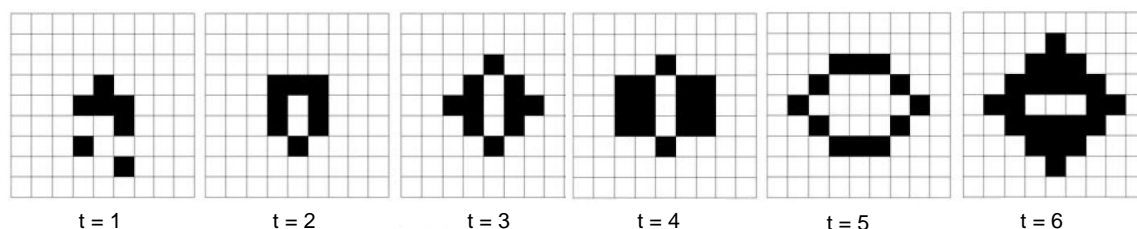
O conceito original de autómato celular, inicialmente designado por Espaços Celulares (Wolfram, 2002), foi introduzido pelos cientistas e matemáticos Stanislaw Ulam e John von Neumann nos anos 40, tendo como base a máquina de Turing, mencionada anteriormente (Mitchell, 1996).

von Neumann na altura, interessado pela biologia e pela ciência da computação pretendia desenvolver um modelo formal de organismos auto-reprodutores. Assim, a utilização de autómatos



celulares surgiu como resposta dada por Ulam, ao desafio posto por von Neuman (Burks, 1970; Mitchell, 1996). O objetivo era desenvolver um sistema artificial que se auto-replicasse e que ao mesmo tempo fosse universalmente computável. von Neumann pretendia investigar dispositivos computacionais análogos ao cérebro humano no qual a memória e as unidades de processamento não estão separadas umas das outras, que são paralelas e capazes de se auto-repararem e auto-reproduzirem (Kari, 2005).

Os autômatos celulares foram introduzidos ao público geral através de jogos de computadores, nomeadamente o Jogo da Vida desenvolvido por John Horton Conway, em que as células apenas possuem dois estados “vivo” ou “morto”, se uma determinada célula tem na sua vizinhança três células vivas então essa célula passa ao estado viva, a célula sobrevive, ou seja mantém o estado viva, se tiver duas ou três células vivas na vizinhança, caso contrário morre. Este jogo foi divulgado através da sua publicação em 1970 na revista *Scientific American* por Martin Gardner (Batty, 1997).



**Fig. 4 – Simulação baseada no Jogo da Vida. As células pretas estão vivas e as células brancas estão mortas, em que  $t$  representa o período temporal. Fonte: (Liu, 2009)**

Contudo, é apenas nas últimas décadas quando surgem computadores com gráficos melhorados, com o crescente interesse pela ciência devido ao neodarwinismo e quando a teoria da complexidade atingiu o seu auge, que os autômatos celulares começaram a ser alvo de grande atenção e interesse (Batty, 1997).

Os autômatos celulares têm vindo a ser utilizados em variadas áreas, desde que Wolfram em 1983 (Wolfram, 1983) demonstrou que estes são sistemas capazes de executar cálculos complexos com grande eficiência e robustez, bem como de modelar comportamentos de sistemas complexos da natureza através de regras simples (Santé *et al.*, 2010). As suas aplicações têm tido lugar em áreas como a matemática, física, biologia, ciência computacional, inteligência artificial, vida artificial, teoria da catástrofe, teoria do caos, teoria da complexidade, cibernética, teoria dos sistemas dinâmicos, teoria da evolução, geometria fractal, teoria geral dos sistemas, nanotecnologia, dinâmica não-linear, auto-organização, e criação de gráficos (Wolfram, 2002). Para além destas áreas tem vindo a ser utilizados também no planeamento urbano (Candau & Goldstein, 2002a; Jantz, Goetz & Shelley, 2004a).

### 3.2| DEFINIÇÃO DE AUTÓMATOS CEULUARES E ELEMENTOS CARACTERIZADORES

Os autômatos celulares são formalizações matemáticas de sistemas físicos em que o tempo e o espaço são discretos e em que as grandezas físicas adquirem um conjunto finito de valores discretos (Wolfram, 1983).

Os autômatos celulares consistem numa rede regular constituída por um número infinito de células adjacentes ou contíguas (Batty, 1997), que mudam o seu estado de acordo com o estado das células vizinhas através da aplicação de regras simples (Wolfram, 1983). Cada célula tem um conjunto finito de estados (Wolfram, 1983). Todas as células alteram o seu estado em simultâneo utilizando a mesma regra de transição (Kari, 2009). O processo é repetido em etapas discretas no tempo (Wolfram, 1983).

Os autômatos celulares são compostos por cinco elementos fundamentais:

- 1) Célula: É considerada a unidade básica do sistema. As células podem ser organizadas num mosaico espacial que pode ser de uma, duas ou três dimensões. O mosaico bidimensional é o mais utilizado quando se trata da modelação do crescimento urbano ou de alterações do uso do solo (Liu, 2009).
- 2) Estado: Define os atributos do sistema. Cada célula pode apenas apresentar um estado dentro de um conjunto de estados num determinado momento. Nos modelos de crescimento urbano baseados em autômatos os estados podem representar os vários tipos de uso do solo ou de ocupação do solo (Liu, 2009).
- 3) Vizinhança: É o conjunto de células em que a célula em questão interage. Num espaço bidimensional existem duas tipologias de vizinhança: a vizinhança de von Neumann constituída por quatro células, isto é, as células a Norte, Sul, Este e Oeste da célula em questão e a vizinhança de Moore composta por oito células, isto é as células a Norte, Sul, Este, Oeste, Noroeste, Nordeste, Sudeste e Sudoeste da célula em questão (Liu, 2009).



**Fig. 5 – a) Vizinhança de von Neumann e b) Vizinhança de Moore. Fonte: Autor**

- 4) Regras de Transição: Definem como um estado de uma célula muda em função do estado actual e do estado das células vizinhas. Estas regras são uma parte fundamental dos

autômatos celulares uma vez que representam a modelação do sistema, sendo essenciais para o sucesso de uma boa modelação. Não há limite para o número de regras (Liu, 2009).

- 5) Tempo: Especifica a dimensão temporal em que o autômato celular ocorre. De acordo com a definição de autômato celular, os estados de todas as células são actualizados simultaneamente de modo iterativo ao longo do tempo (Liu, 2009).

### 3.3| MODELOS URBANOS BASEADOS EM AUTÔMATOS CELULARES

#### 3.3.1| DESENVOLVIMENTO

A utilização de modelos no planeamento não é de toda uma novidade. Esta ideia tem origem no modo como as pessoas reagem no mundo em que habitam. Praticamente todos os sistemas do mundo real são bastante complexos. Visto isto, estes sistemas são constantemente explorados através da utilização de padrões de símbolos, regras e processos na tentativa de os simplificar para que possam ser então compreendidos e geridos (Liu, 2009).

As cidades são vistas como sistemas complexos e em constante evolução tendo levado os investigadores a utilizarem modelos para explicar a forma da cidade. A utilização de modelos urbanos remonta ao início do século XIX, quando von Thunen publicou o seu modelo em 1826 sobre a localização dos espaços agrícolas tendo em consideração os mercados existentes designado por Teoria Clássica de von Thunen. A importância desta descoberta de von Thunen acerca da disposição dos diferentes usos do solo teve como base a Teoria *Bid-Rent* de Alonso (1964) que tentava explicar os padrões formados pelos diferentes usos do solo através do valor dos terrenos e do número de habitações existentes. A lei *Rank-Size* de Zipf foi aplicada à cidade tendo levado a uma maior organização na disposição dos edifícios na paisagem. A estrutura interna das cidades bem como o seu crescimento foi estudado à luz da Teoria da Localização Industrial de Weber (1909), Teoria de Zonas Concêntricas de Burgess (1925), Teoria do Lugar Central de Christaller (1933), Teoria do Sector de Hoyt's (1939) e à Teoria dos Núcleos Múltiplos de Harris and Ullman (1945) (Liu, 2009). Apesar dos modelos baseados nestas teorias serem úteis, estes são bastante estáticos e não têm em consideração os processos dinâmicos de desenvolvimento da cidade (Candeau, 2002)

A utilização dos modelos na geografia urbana foi bastante difundida nos anos 50 e 70, correspondendo ao período da revolução quantitativa da geografia, o que levou ao desenvolvimento de diversos modelos capazes de explorar o processo de crescimento de uma cidade. As teorias que constituíram os pilares da utilização dos autômatos celulares para a modelação urbana abandonaram o paradigma de que as cidades eram estruturadas e tendiam sempre para o equilíbrio e foram substituídos pela ideia de que as cidades eram sistemas complexos e em constante evolução, que deviam ser observados à luz da teoria do caos, complexidade organizada, ciências da vida e geometria fractal (James, 2005). Uma das desvantagens destes modelos residia no facto destes

serem muito complexos e de serem mais impulsionados pela tecnologia do que pela teoria, devido a este facto não conseguiram alcançar os objectivos necessários para se obter modelos urbanos de sucesso (Candeau, 2002).

Contudo é importante destacar alguns modelos que se encontram na base dos modelos baseados em autómatos celulares. O modelo de Torsten Hagerstrand (1952) em que o crescimento espacial das áreas urbanas e as mudanças na estrutura urbana passaram a ser tratados como diferentes tipos de processos de difusão associado à noção de efeito de vizinhança, que constitui o ponto de partida dos AC. O modelo apresentado por Lathrop e Hamburg (1965) foi desenvolvido com base em células para simular o desenvolvimento de uma área urbana no estado de Nova York, influenciado por uma abordagem comportamental dos indivíduos e dos seus processos de decisão. É ainda de referir que em 1968, Chapin e Weiss desenvolveram um modelo do processo de ocupação do solo que consistia em módulos de espaço celular articulados onde as mudanças de estados eram desencadeadas por um diverso número de factores que afectavam cada célula, o qual incluía também a noção de vizinhança (Liu, 2009).

É então, em 1974 que W. Tobler fez o vínculo entre os autómatos celulares e a modelação geográfica, quando propôs um modelo de espaço celular para a região de *Detroit* (Candeau, 2002).

Os primeiros modelos urbanos baseados em autómatos celulares funcionais começaram a aparecer apenas no final dos anos 80. A utilização dos autómatos celulares deve-se em parte da pesquisa de Batty e Longely, que identificaram as diversas capacidades da Agregação por Difusão Limitada (ADL). Esta técnica é muito próxima dos autómatos celulares, utilizada para simular o crescimento dendrítico de forma a obter uma simulação que melhor espelha o desenvolvimento urbano. De acordo com essa pesquisa, a ADL fornece um excelente ponto de partida para os modelos de crescimento urbano. Couclelis mostrou que padrões complexos podem ser gerados a partir de regras simples através dos autómatos celulares e veio também mostrar as várias possibilidades da sua aplicação em simulações urbanas (Morrison, 2012). No início da década de 90, com as tecnologias 3S (GPS – Sistema de Posicionamento Global, SIG – Sistemas de Informação Geográfica, DR – Detecção Remota) permitiu o desenvolvimento de poderosos *softwares* de simulação urbana através da associação entre autómatos celulares e os SIG (Wang *et al.*, 2013). White e Engelen foram os pioneiros desta nova escola com a implementação de modelos que se restringem à simulação do crescimento urbano e ocupação do solo baseados em autómatos celulares, tendo impulsionado a sua utilização nas décadas seguintes (Morrison, 2012).

Desde então, muitos esforços têm vindo a ser feitos para estudar através desta técnica, o crescimento urbano (Wu & Webster, 1998), (Batty & Xie, 1997), (Batty & Xie, 1994), alterações do uso do solo (Maria de Almeida *et al.*, 2003), (White & Engelen, 1993), futuros cenários da expansão urbana (Clarke & Gaydos, 1998), (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997), (Silva & Clarke, 2002), (Barredo *et al.*, 2003), salvaguarda dos recursos ecológicos em meio urbano (Gong & Howarth, 1990) e cenários de aplicação de políticas de uso do solo (Candau & Goldstein, 2002a; Jantz, Goetz & Shelley, 2004a).

Na tabela seguinte encontram-se um resumo de alguns modelos utilizados para estudar as temáticas descritas anteriormente.

**Tabela 4 – Modelos baseados em Autómatos celulares utilizados na geração de cenários de crescimento urbano e alterações do uso do solo. Fonte: (Costa, 2010)**

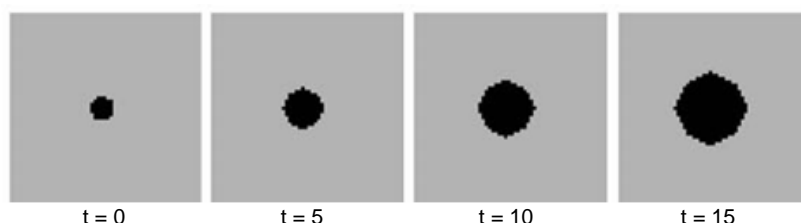
DESIGNAÇÃO	AUTORES	ÁREA GEOGRÁFICA	HORIZONTE TEMPORAL	TAMANHO DAS CÉLULAS	INPUTS	LICENÇA
<i>CUF2</i> ( <i>California Urban Futures</i> )	Landis e Zhang, 1998	Baía de S. Francisco, EUA	10 anos	100 m x 100 m	Uso do Solo, Acessibilidades, Vizinhança, Políticas de Planeamento	-
<i>BabyLOV</i>	White et al., 2004	Holanda	10 anos	500 m x 500 m	Uso do Solo, Acessibilidades, Vizinhança, Políticas de Planeamento	Versão demo
<i>DUEM</i> ( <i>Dynamic Urban Evolutionary Modeling</i> )	Batty e Xie, 2005	Várias cidades americanas	15 – 25 anos	300 m x 300 m	Uso do Solo, Acessibilidades, Vizinhança, Políticas de Planeamento	Download grátis
<i>Clue</i> ( <i>Conservation of Land Use and its Effects</i> )	Verburg e Overmars, 2007	Malásia e Filipinas	12 – 20 anos	1000 m x 1000 m	Uso do Solo, Dados Climáticos, Altimetria, dados socioeconómicos	Versão demo
<i>MOLAND</i>	Engelen et al., 2007	Várias cidades europeias	30 – 50 anos	Definido pelo utilizador	Uso do Solo, Aptidão, Acessibilidades, Vizinhança, Zonamento	Versão demo
<i>SLEUTH</i>	Dietzel e Clarke, 2007	Cidades europeias e americanas	20 – 30 anos	100 m x 100 m	Declives, Uso do Solo, Áreas Urbanas, Áreas de Exclusão, Acessibilidades, Relevo Sombreado	Download grátis

### 3.3.2] FUNCIONAMENTO

O funcionamento dos autómatos celulares aplicados ao crescimento urbano pode ser facilmente entendido se pensarmos numa cidade imaginária construída num espaço composto por células, constituída por uma matriz regular de  $n \times n$  células. Cada célula só pode apresentar dois estados, urbano e não-urbano. A vizinhança representa uma área que influi no desenvolvimento da célula em questão. As regras de transição determinam como é que uma célula muda de um estado para outro no processo de desenvolvimento local. Geralmente estas regras de transição são expressas como um conjunto de regras “*IF – THEN*”, que são intrinsecamente simples. Apesar da simplicidade das regras estas podem no entanto gerar padrões de desenvolvimento bastante complexos (Liu, 2009).

Seguidamente apresentam-se algumas das regras “*IF – THEN*” dos autómatos celulares:

**REGRA 1:**    *IF*            Existem duas ou mais parcelas urbanas na vizinhança de Moore da célula não urbana em questão  
*THEN*        A célula não-urbana vai mudar o seu estado para urbano

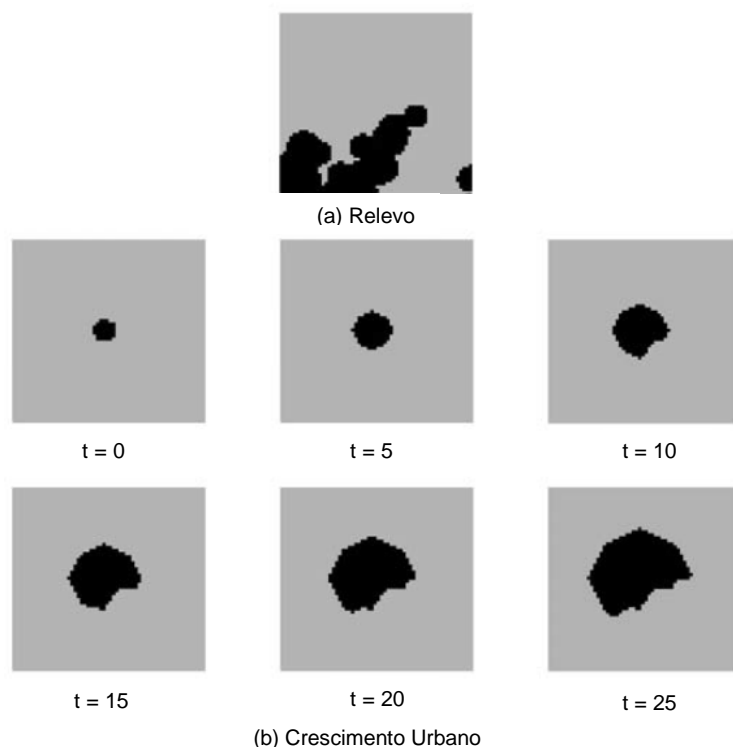


**Fig. 6 – Crescimento urbano gerado por autómatos celulares num terreno plano. Cinzento: Não Urbano; Preto: Urbano; t: Período Temporal. Fonte: (Liu, 2009).**

A fig.6 ilustra um exemplo em que a região é plana e apresenta condições económicas, sociais e ambientais homogéneas. Desta forma, o único factor que influi no desenvolvimento urbano é o número de células vizinhas urbanas da célula em questão. Assim a transição do estado da célula é feita de acordo com a regra 1, tendo em consideração a vizinhança de Moore (Liu, 2009).

Contudo, numa situação real, as condições geográficas de uma região nunca são totalmente homogéneas, nomeadamente o declive do terreno que por vezes é bastante irregular. Desta forma, a construção pode ser inapropriada acima dos 300 metros devido a questões de técnicas, nomeadamente a implantação da rede de esgotos ou mesmo pelo elevado custo de construção devido a essas condições. Neste caso tem de ser aplicada outra regra “*IF-THEN*” (Liu, 2009).

**REGRA 2**    *IF*            A cota do terreno é superior a 300 metros  
*THEN*        A célula permanece não-urbana



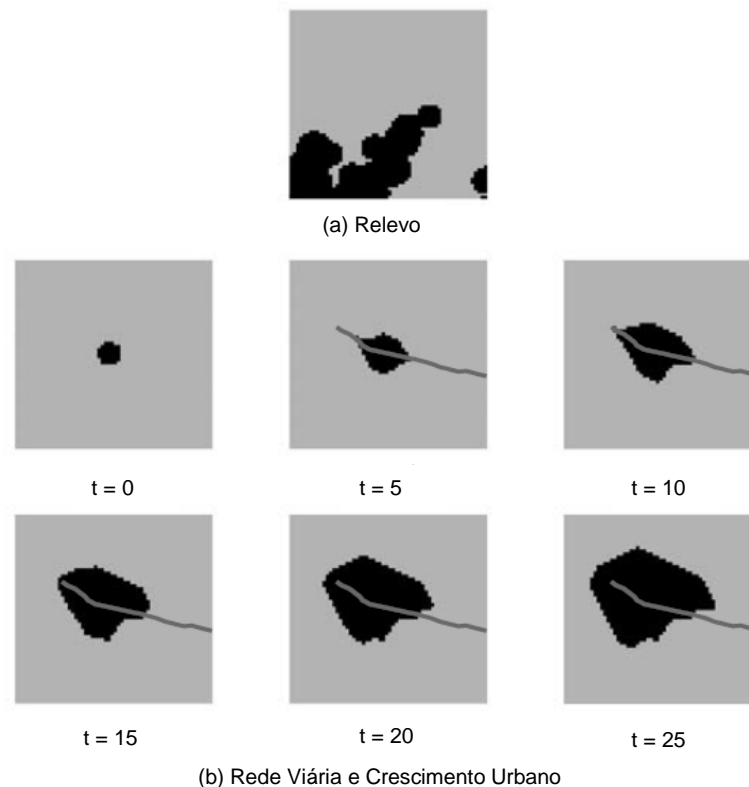
**Fig. 7 – Crescimento urbano com restrições no declive do terreno. a) Relevo (preto: mais de 300 metros de cota; cinzento: menos de 300 metros de cota). b) Crescimento urbano (Preto: Urbano; Cinzento: Não-Urbano; t: Período temporal). Fonte: (Liu, 2009)**

Aplicando as regras 1 e 2 o desenvolvimento urbano será alterado, ocorrendo de acordo com as figuras apresentadas.

Para além das regras descritas anteriormente, a rede viária introduz também algumas alterações na forma como o crescimento urbano se desenvolve, nomeadamente se uma estrada principal atravessar uma área urbana, o crescimento urbano ocorrerá ao longo dessa mesma estrada. Assim será necessário aplicar outra regra “*IF-THEN*” que tenha em consideração este facto (Liu, 2009).

**REGRA 3:**      **IF**      Existem duas ou mais células urbanas na vizinhança de Moore de uma célula não-urbana e existe uma estrada que atravessa essa célula

**THEN**      A célula não-urbana altera o estado para urbano



**Fig. 8 – Crescimento urbano com influência da rede viária. a) Relevo (preto: mais de 300 metros de cota; cinzento: menos de 300 metros de cota). b) Rede de Viária (Linha Cinzenta); Crescimento Urbano (Preto: Urbano; Cinzento: Não-Urbano; t: Período temporal). Fonte: (Liu, 2009)**

Mais uma vez, a aplicação destas regras encontra-se expressa pela fig. 8 e altera o padrão do crescimento urbano.

Através desta estrutura de modelação podem ser adicionadas mais regras de transição que refletem apoios ou restrições de cariz social, económico ou ambiental que tem consequências no desenvolvimento urbano (Liu, 2009).

### 3.3.3| VANTAGENS E LIMITAÇÕES

A utilização de autómatos celulares na geração de cenários de desenvolvimento urbano tem algumas vantagens mas também apresentam algumas limitações que interessam referir.

A simplicidade e o cariz intuitivo dos autómatos celulares simplificam o processo de construção do modelo e tornam mais fácil o entendimento e a interpretação dos resultados para os utilizadores. Esta simplicidade provém das regras de transição “*IF-THEN*” e da utilização de uma matriz bidimensional de células que podem conter apenas dois estados (Liu, 2009).

Os modelos urbanos baseados em autómatos celulares focam-se na simulação das dinâmicas processuais do desenvolvimento urbano e na definição dos factores ou regras que levam ao



desenvolvimento através da aplicação de um conjunto de regras de transição. Desta forma esta abordagem fornece uma modelação dinâmica e proporciona assim um ambiente de apoio às experiências “*WHAT IF*”. Isto vai permitir aos utilizadores explorar diversos cenários possíveis, bem como o desenvolvimento de novos conhecimentos úteis no planeamento urbano (Liu, 2009).

As maiorias dos modelos de autómatos celulares são compatíveis com SIG/*Raster*, o que constitui uma grande vantagem. Os SIG podem fornecer os dados iniciais necessários para executar o modelo e posteriormente, após a obtenção dos resultados das simulações estas podem ser inseridas de novo nos SIG de forma a proceder ao seu processamento, visualização e armazenamento (Liu, 2009).

Uma das limitações da utilização de autómatos celulares no crescimento urbano está relacionada com os erros dos dados origem para elaborar os ficheiros necessários para correr o modelo. Estes erros podem ser de dois tipos, de posicionamento nos SIG que podem afectar a simulação e de atributos que estão associados a erros instrumentais e humanos (Yeh & Li, 2006).

Outros erros bastante frequentes são aqueles que ocorrem durante as transformações e operações em SIG nomeadamente nas transformações vector – *raster*, transformações *raster – raster* (*resampling*), operações de *overlay* ou *buffer* e ainda outras operações complexas como a classificação (Yeh & Li, 2006).

Existem outros erros que provêm do próprio modelo que estão associados à limitação da tecnologia, do conhecimento humano e à complexidade da natureza (Yeh & Li, 2006). Os modelos de autómatos celulares são apenas uma aproximação à realidade que generalizam processos muito complexos, uma vez que é bastante difícil simular todos os processos que actuam num território e por isso nunca representarão o mundo real. (Candeau, 2002). Os vários tipos de modelos de AC foram concebidos de acordo com percepções e preferências individuais e requerimentos de aplicações específicas, sendo que desta forma os resultados das simulações feitas com diferentes modelos utilizando os mesmos dados nunca serão iguais (2010).

Os modelos de AC não conseguem lidar com processos *top-down*, como por exemplo as alterações que são executadas por acções políticas (Rodrigues, 2013).

Para além destas limitações, existem ainda limitações relacionadas com o *hardware* necessário para correr os modelos, geralmente associado ao tempo excessivo que é consumido durante o processo de calibração (Chaudhuri & Clarke, 2013).

Apesar das desvantagens, a modelação urbana com base em autómatos celulares tornou-se a técnica eleita desde os trabalhos de Tobler. Isto deve-se ao facto de as cidades serem vistas como sistemas complexos e evolucionários, o que as torna bastante adequados para modelos computacionais, nomeadamente os autómatos celulares que parecem ideais para modelar os sistemas urbanos, uma vez que através de regras simples conseguem gerar padrões bastante complexos (Liu, 2009).

### 3.4| MODELO *SLEUTH*

Nas últimas décadas os modelos de crescimento urbano e de alterações do uso do solo têm desempenhado um papel fundamental no entendimento das causas, mecanismos e consequências das dinâmicas do uso do solo, para além disto, estes oferecem também uma oportunidade de explorar e avaliar as políticas de uso do solo bem como de visualizar cenários futuros alternativos (Chaudhuri & Clarke, 2013). Dentro do conjunto destes modelos, os que mais se destacam são os modelos baseados em autómatos celulares dos quais o *SLEUTH* faz parte. O modelo *SLEUTH* tem vindo a ser aplicado ao longo de 16 anos em várias cidades do mundo com bastante sucesso (Chaudhuri & Clarke, 2013).

O *SLEUTH* resulta da junção do modelo *Land Cover Deltatron* e do Modelo de Crescimento Urbano (UGM – *Urban Growth Model*). É um modelo computacional que simula o crescimento urbano e as alterações do uso do solo que são causadas pelo processo de urbanização (Clarke, 2008). Este modelo, programado na linguagem C, foi desenvolvido por Keith Clark e encontra-se em constante evolução pelo *US Geology Survey* e pelo Departamento de Geografia da Universidade da Califórnia (US Geological Survey, 2003).

O nome do modelo é o acrónimo de *Slope* (Declives), *Land Use* (Uso do Solo), *Exclusion* (Áreas Não Urbanizáveis), *Urban Extent* (Áreas Urbanas), *Transportation* (Rede Viária) e *Hillshade* (Exposição Solar), que correspondem à informação de base que o modelo necessita (Silva, 2002).

A sua origem está associada à modelação da propagação e comportamento dos fogos florestais baseado no trabalho desenvolvido por Michael Batty. E desde então sofreu várias modificações até chegar à versão actual do *SLEUTH* (Clarke, 2008).

O modelo nasceu em 1991 como resultado de várias discussões do geógrafo Len Gaydos da USGS sobre as alterações do uso do solo no centro de pesquisa Ames da NASA, o desenvolvimento da primeira versão operacional do *SLEUTH* estava integrado no programa de investigação *Urban Dynamics* da USGS. Mais tarde a USGS reformulou o modelo para que pudesse simular, para além do crescimento urbano, as alterações do uso do solo. Esta versão reformulada foi disponibilizada na página da internet do Projecto Gigalopolis (Clarke, 2008).

Em 1996, surgiu a segunda versão do modelo com alocação dinâmica de memória (Clarke, 2008).

Por último, com o financiamento da USGS e da EPA (*Environmental Protection Agency*), a equipa reescreveu o código do modelo tendo estabelecido ligações com o *Message Passing Interface*, tornando o *SLEUTH* adequado aos supercomputadores *Cray* da EPA. Este trabalho de reescrever o código foi da autoria de Tommy Cathey e Mark Feller, tendo resultado na terceira e mais recente versão do modelo designada por *SLEUTH3.0Beta\_p01 Linux*, lançada em Junho de 2005. Esta versão corre no Sistema Operativo *Linux*, *Unix* ou no emulador do *Windows*, *Cygwin* (Clarke, 2008).

### 3.4.1| PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO *SLEUTH*

Como já foi referido, o autómato celular é uma estrutura teórica que permite experiências computacionais com disposições espaciais ao longo do tempo. O modelo *SLEUTH*, sendo baseado em autómatos celulares, é assim caracterizado pelos seguintes parâmetros (Clarke, 2008):

- 1) Um conjunto de células, geralmente uma matriz de células, que cobrem uma determinada área urbana;
- 2) Um conjunto de estados associados às células, que tanto podem ser apenas binários, urbano ou não urbano, como podem ser mais detalhados como por exemplo no uso do solo, urbano, florestal, agrícola, massas de água. Cada célula possui um estado num espaço preciso de tempo;
- 3) Um conjunto de regras que regem as alterações dos estados ao longo do tempo. Um mecanismo de actualização, no qual as regras que são aplicadas aos estados num período de forma a obter os estados das mesmas células no período de tempo seguinte;
- 4) Relações de vizinhança, em que a vizinhança é constituída pelas oito células contíguas (vizinhança de Moore).
- 5) Um conjunto de condições iniciais que descrevem a área de estudo no estado actual. As sucessivas aplicações das regras nos estados vai produzir estados diferentes além das condições iniciais, a aplicação de uma regra juntamente com a actualização sincronizada de todas as células é considerada como a passagem de um ano (Clarke, 2008) (Syphard, Clarke & Franklin, 2005).

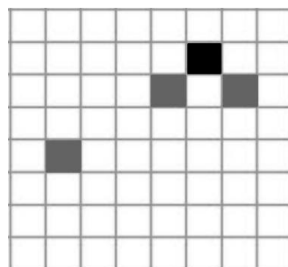
Para que o modelo possa ser executado são necessários cinco tipos de *inputs* que contenham: quatro ou mais ficheiros com áreas urbanas que correspondam a anos diferentes; dois ou mais ficheiros com a rede viária que correspondam a dois anos diferentes; um ficheiro com os declives do terreno, um ficheiro com as exposições solares e um ou mais ficheiros com as áreas de exclusão (US Geological Survey, 2003).

### 3.4.2| REGRAS DE CRESCIMENTO

O modelo funciona através de dois *loops*, no *loop* exterior são compilados os dados resultantes de estatísticas cumulativas da história de crescimento urbano dos vários anos, e o *loop* interno executa as regras de crescimento para cada ano (Syphard, Clarke & Franklin, 2005).

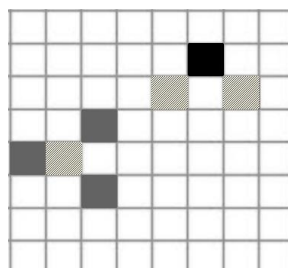
No modelo existem quatro regras que expressam o crescimento urbano, e as probabilidades de ocorrência destes tipos de crescimento são função dos cinco coeficientes de crescimento que afectam o comportamento do sistema. Os tipos de crescimento são aplicados de forma sequencial, numa célula de cada vez, e toda a matriz de células é actualizada após uma iteração anual para servir de base para o crescimento no ano seguinte (Syphard, Clarke & Franklin, 2005).

Primeiro ocorre o Crescimento Espontâneo, que corresponde à simulação do crescimento urbano sem que tenha qualquer relação com as infraestruturas já existentes, simulando a fragmentação provocada pelas áreas urbanas na sua envolvente (Clarke, 2008) (Clarke & Gaydos, 1998). Este tipo de crescimento consiste em seleccionar uma célula aleatoriamente, se essa célula tiver pelo menos um vizinho urbano e passar no teste dos declives (ou seja, se o declive for inferior a 21%), então a célula passa a ser urbana (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997).



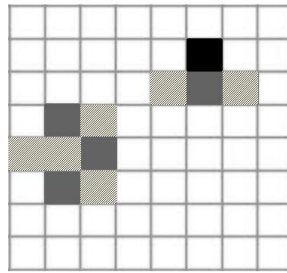
**Fig. 9 – Exemplo do Crescimento Espontâneo. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998)**

Seguidamente surge o Crescimento Difuso que determina quais das células urbanizadas pelo Crescimento Espontâneo se vão tornar novos centros urbanos. Consiste em escolher uma célula aleatoriamente e se essa célula estiver totalmente isolada e tiver sido submetida a testes de difusão e os testes de declives (ou seja, se o declive for inferior ou igual a 21%), então essa célula é urbanizada. De forma a permitir que essa célula se torna um novo centro urbano é necessário procurar na vizinhança novas células que serão urbanizadas também de forma a garantir o crescimento (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997).



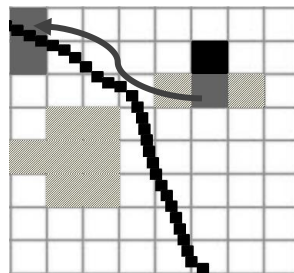
**Fig. 10 – Exemplo do Crescimento Difuso. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998)**

O Crescimento Orgânico é o tipo de crescimento mais comum e simula a expansão tendo em conta áreas urbanas já existentes, expande-se através da periferia e através do preenchimento dos espaços internos vazios representa a tendência que as áreas urbanas têm em expandir-se (Clarke, 2008); (Clarke & Gaydos, 1998). Consiste em verificar se as células que tiverem pelo menos três células urbanas na vizinhança e se os declives forem adequados (iguais ou inferiores a 21%) então essas células tornam-se urbanas (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997).



**Fig. 11 – Exemplo do Crescimento Orgânico. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998)**

Por último tem-se o Crescimento Influenciado pelas Redes Viárias, que se baseia no crescimento urbano junto a redes viárias. Consiste na selecção aleatória de uma possível nova área urbana e procura na sua proximidade a existência de uma estrada. Se a estrada for encontrada então desloca-se ao longo da estrada numa distância correspondente a metade do valor do coeficiente *Diffusion*. Depois espalha-se para células vizinhas suficientes para que possa constituir um novo crescimento a partir dessa localização (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997).



**Fig. 12 – Exemplo do Crescimento Influenciado pela Rede Viária. Preto: Célula urbanizada, Cinzento: Células urbanizadas no actual período temporal, Cinzento claro: Células urbanizadas no período temporal anterior, Linha: Rede viária, Seta: Crescimento movido para a estrada e o seu crescimento. Fonte: (Clarke & Gaydos, 1998)**

### 3.4.3| COEFICIENTES DE CRESCIMENTO

Os Coeficientes de Crescimento têm influência na forma como estas regras de crescimento são executadas. Assumem valores entre 0 e 100 e cada um dos seus valores iniciais é derivado através do processo de calibração do modelo. A calibração destes valores é feita através de uma comparação entre as alterações do uso do solo e os dados históricos da área de estudo que resulta do cálculo de uma regressão linear (Candeau, 2002).

Os Coeficientes de Crescimento são os seguintes:

*Dispersion* ou *Diffusion*: Controla o número de vezes que uma célula pode ser escolhida aleatoriamente para uma possível urbanização durante o Crescimento Espontâneo. Este coeficiente

também controla quantos “passos” ou células são necessárias para constituir um trajecto aleatório na rede viária durante o Crescimento Influenciado pela Rede Viária (Candeau, 2002).

*Breed*: Determina a probabilidade de uma célula urbanizada pelo Crescimento Espontâneo se tornar num novo centro de expansão urbana e ainda o número de vezes que um trajecto na rede viária será levado a cabo durante o Crescimento Influenciado pela Rede Viária (Candeau, 2002).

*Spread*: Determina a probabilidade de qualquer célula que faça parte de um centro de crescimento urbano, isto é de um conjunto de três ou mais células numa vizinhança de nove células, de gerar uma nova célula urbana na sua vizinhança (Candeau, 2002).

*Slope*: Este coeficiente afecta da mesma forma todas as regras de crescimento. Quando uma célula está a ser testada se é ou não adequada ao crescimento urbano o declive dessa área é considerado e influi nesse teste. Este coeficiente actua como um multiplicador em vez de impor uma relação linear entre a percentagem do declive e o crescimento urbano. Se o coeficiente tiver um valor muito elevado significa que cada vez mais íngremes são as encostas e por isso torna-se mais propenso a falhar no teste do crescimento urbano, por outro lado, se o valor do coeficiente for próximo de zero, maior é a probabilidade de crescimento (Candeau, 2002).

*Road Gravity*: Determina a atracção da urbanização para a rede viária bem como a sua difusão ao longo das vias durante o Crescimento Influenciado pela Rede Viária, isto é, a distância máxima para que possam surgir novas células urbanas (Candeau, 2002).

#### 3.4.4| REGRAS DE SELF-MODIFICATION

Os valores de cada Coeficiente de Crescimento evoluem à medida que o modelo vai sendo executado em função de uma segunda hierarquia de regras de crescimento que leva à “auto-modificação” do modelo (Syphard, Clarke & Franklin, 2005).

As Regras de Self-Modification, estabelecidas *a priori*, controlam a taxa de crescimento de forma a obter uma simulação do crescimento urbano ao longo do tempo o mais próxima possível da realidade, permitindo reajustar o modelo para que este possa replicar a curva em S do crescimento urbano (Syphard, Clarke & Franklin, 2005).

Estas regras são aplicadas quando a taxa de crescimento excede ou fica muito afastada do limite dos valores dos coeficientes de crescimento. Desta forma, o modelo reajusta-se e vai alterar os valores dos coeficientes de modo a que possam simular um crescimento rápido, lento ou inexistente (Candeau 2002). Se estiver perante um caso de crescimento rápido o modelo vai multiplicar os valores dos coeficientes por um factor superior a 1 e se se tratar de caso de inexistência de crescimento ou de crescimento lento multiplica por um factor inferior a 1 (Clarke & Gaydos, 1998).

Outro dos efeitos destas regras é o facto de aumentar o valor do coeficiente *Road Gravity* à medida que a rede viária se expande, permitindo que exista uma maior crescimento urbano junto às estradas,

e uma diminuição no coeficiente *Slope Resistance* à medida que as áreas adequadas à urbanização vão decrescendo, permitindo assim a sua expansão para declives mais acentuados (Clarke & Gaydos, 1998).

### 3.4.5| INPUTS

O modelo *SLEUTH* requer que os *inputs* sejam imagens em formato GIF e em escala de cinzentos. Para todos os ficheiros o valor 0 significa nulo/inexistente enquanto que  $0 < n < 255$  corresponde a existente (US Geological Survey, 2003). Para além disto é ainda necessário que todos os ficheiros tenham exactamente o mesmo número de linhas e colunas, ou seja, que tenham a mesma resolução. As coordenadas devem ser as mesmas e a área de estudo em cada imagem tem de ser igual. É ainda necessário ter em atenção o formato da nomenclatura das imagens (US Geological Survey, 2003). Se estes requisitos não se cumprirem as imagens não conseguem ser lidas pelo autómato (US Geological Survey, 2003).

Como já foi referido anteriormente, para o modelo poder ser executado são necessários cinco tipos de *inputs* que contenham: quatro ou mais ficheiros com áreas urbanas que correspondam a anos diferentes; dois ou mais ficheiros com a rede viária que correspondam a dois anos diferentes; um ficheiro com os declives do terreno, um ficheiro com as exposições solares e um ou mais ficheiros com as áreas de exclusão (US Geological Survey, 2003).

### DECLIVES

Geralmente o declive é derivado de um Modelo Digital do Terreno (MDT), mas também podem ser utilizadas outros tipos de fontes de informação altimétrica. Deve estar expresso em percentagem e não em graus. O valor dos *pixels* deve estar compreendido no seguinte intervalo: 0 – 100. As células que tiverem um declive acima de 21% são excluídas da urbanização pelo modelo (US Geological Survey, 2003).

### USO DO SOLO

Cada valor do *pixel* considerado dentro da escala de cinzentos deve representar um tipo de uso do solo diferente. Como por exemplo, RGB (1,1,1): Áreas urbanas, (2,2,2): Agricultura, (3,3,3): Montanha, (4,4,4): Floresta (US Geological Survey, 2003).

### ÁREAS DE EXCLUSÃO

Estas imagens definem todas as áreas que apresentam restrições à expansão urbana. Nas áreas em que o desenvolvimento urbano é 100% restrito, como por exemplo massas de água, deve-se atribuir o valor 100 ao *pixel* ou então se for uma restrição parcial, como por exemplo zonas protegidas, deve-

se atribuir um valor ao pixel entre 1 e 100. O local que não apresenta qualquer restrição deve-se atribuir o valor 0 (US Geological Survey, 2003).

Os *pixels* devem conter valores entre 0 e 255, mas todos os valores acima de 100 são lidos como 100 (US Geological Survey, 2003).

## ÁREAS URBANAS

Para a calibração, o primeiro ano das imagens do áreas urbanas, é utilizado como *seed* e as imagens dos anos seguintes são utilizadas como anos de controlo, sendo utilizados para medir um conjunto variado de métricas. Por esta razão, são necessárias pelo menos quatro imagens de diferentes anos: Um para iniciar e três para calcular os mínimos quadrados (US Geological Survey, 2003).

O modelo requer apenas uma classificação binária: Urbano (0) ou Não-Urbano ( $0 < n < 256$ ). Este *input* pode ser conseguido através da fotointerpretação de fotografias aéreas, algoritmos de detecção remota ou ainda através de cartografia digitalizada (US Geological Survey, 2003).

## REDE VIÁRIA

O crescimento influenciado pela rede viária simula a tendência do crescimento urbano associado à proximidade a vias de acesso. A rede viária pode assim ter uma influência determinante no desenvolvimento de uma cidade. Desta forma são necessários pelo menos dois ficheiros de redes viárias em dois momentos temporais diferentes (US Geological Survey, 2003).

A rede viária pode ter uma classificação binária, Estrada ( $0 < n < 256$ ) ou Não-Estrada (0), ou uma classificação com valores relativos em função da importância das vias (US Geological Survey, 2003).

## RELEVO SOMBREADO

Este ficheiro não influi para o desenvolvimento urbano. É apenas utilizado para dar contexto espacial. Geralmente o relevo sombreado é derivado do MDT. De forma a providenciar informações mais detalhadas de uma região as massas de água também devem estar representadas (US Geological Survey, 2003).

### 3.4.6| CALIBRAÇÃO

A calibração permite através da análise de dados históricos de uma determinada região entender os padrões de crescimento e desta forma fazer previsões devidamente fundamentadas do crescimento urbano no futuro segundo esses padrões (Silva, 2002).



A calibração constitui então uma das fases mais importantes em todo o processo de aplicação do modelo, isto deve-se ao facto de que esta possibilita afinar/detalhar os valores que espelham as características do local (Silva, 2002).

Um dos elementos que diferencia a aplicação/verificabilidade/portabilidade/robustez de um modelo é mesmo esta assimilação das características locais no processo de calibração (Silva, 2002).

O modelo é iniciado pelos *inputs* com as datas mais antigas e a partir daí começam a ser gerados os ciclos de crescimento. Cada ciclo de crescimento representa um ano. Todos os outros *inputs* com datas seguintes são designados por anos de controlo. Quando um ciclo coincide com um *input* de ano de controlo, é produzida uma imagem simulada e são medidas um conjunto de métricas relacionadas com as áreas urbanas, sendo armazenadas em memória. É assim construída uma base de dados de métricas que se forma ao longo dos ciclos permitindo fundamentar os valores dos coeficientes de crescimento, sendo calculadas através de dois processos complementares, iterações de *Monte Carlo* e *Brute Force Calibration* (US Geological Survey, 2003).

#### ITERAÇÕES DE MONTE CARLO

As iterações de *Monte Carlo* são utilizadas de forma a fazer face à instabilidade proveniente da grande aleatoriedade presente nos ciclos de crescimento, trazendo alguma estabilidade aos resultados modelados. Desta forma as iterações de *Monte Carlo* permitem reduzir a dependência em relação às condições iniciais e à aleatoriedade. Quando um conjunto de coeficientes completou um determinado número de iterações, os valores das métricas são armazenados e são divididos pelo número de iterações realizadas. Estes valores médios são então comparados com os valores das métricas dos anos de controlo e com os valores da regressão linear e desta forma são encontrados os valores que melhor se ajustam (US Geological Survey, 2003).

#### CALIBRAÇÃO DE BRUTE FORCE

A Calibração de *Brute Force* utiliza os cinco coeficientes que variam independentemente no intervalo de 0 a 100. Este facto, à partida, representa um grande número de possíveis soluções e requer uma quantidade assombrosa de ciclos de CPU (Unidade Central de Processamento) para que se possa explorar o espaço multidimensional do coeficiente. De forma a reduzir este elevado número de soluções, o método *Brute Force Calibration* permite derivar os valores dos parâmetros. Isto é, em vez de executar todas as permutações de possíveis conjuntos de coeficientes, cada parâmetro é analisado de acordo com incrementos no seu intervalo (US Geological Survey, 2003).

Este método envolve a calibração do modelo em três etapas, *Coarse*, *Fine* e *Final*, em que o intervalo dos valores dos coeficientes vai ficando gradualmente mais estreito e a resolução das imagens vai sendo cada vez maior (US Geological Survey, 2003). Os valores de *critical\_low* e *critical\_high* das regras de *self-modification* podem variar entre 0 e 10000000000000.

Os resultados das treze métricas, provenientes de cada fase de calibração são ordenados e daí são extraídas as cinco métricas que sintetizam o comportamento do sistema para que se possa iniciar a próxima fase de calibração (Costa, 2010).

A análise da variação dos valores ao longo das três fases de calibração permite verificar como se comportam os diversos elementos nas diferentes resoluções, como progridem, qual o seu grau de variação e qual o seu grau de importância no comportamento do sistema (Costa, 2010).

### COARSE

Nesta fase de calibração, o intervalo dos cinco coeficientes é de 0 a 100 e são explorados grandes incrementos, como por exemplo para cada coeficiente, valor = {0, 25, 50, 75, 100}, e a resolução das imagens deve ser  $\frac{1}{4}$  da resolução máxima. Por exemplo, se as imagens de máxima resolução forem de 200x200, para a fase *Coarse* as imagens devem ser redimensionadas para 50x50. Nesta fase é utilizada um número reduzido de iterações de *Monte Carlo*, podendo ser 4 ou 5 (US Geological Survey, 2003).

### FINE

Através da análise dos valores no ficheiro *control\_stats.log*, resultante da fase de calibração anterior, são obtidos os valores que mais se ajustam e desta forma o intervalo dos valores dos coeficientes é mais reduzido. Os incrementos, preferencialmente, devem ser da ordem de 5 a 10, por exemplo para um coeficiente, valor = {25, 30, 35, 40, 45, 50}. Nesta fase a resolução das imagens devem ser  $\frac{1}{2}$  da máxima resolução, por exemplo se a resolução máxima for 200x200 nesta fase a imagem deve ser redimensionada para 100x100. O número de iterações de *Monte Carlo* aumentam, podem ser entre 6 a 8 (US Geological Survey, 2003).

### FINAL

Mais uma vez os valores do ficheiro *control\_stats.log* resultantes da fase anterior de calibração são analisados, obtendo-se assim os valores que melhor se ajustam. O intervalo dos valores dos coeficientes são de novo reduzidos, preferencialmente de 1 a 3, por exemplo para um coeficiente, valor = {4, 6, 8, 10, 12}. Nesta fase são então utilizadas as imagens de máxima resolução e o número de iterações de *Monte Carlo* variam de 8 a 10 (US Geological Survey, 2003).

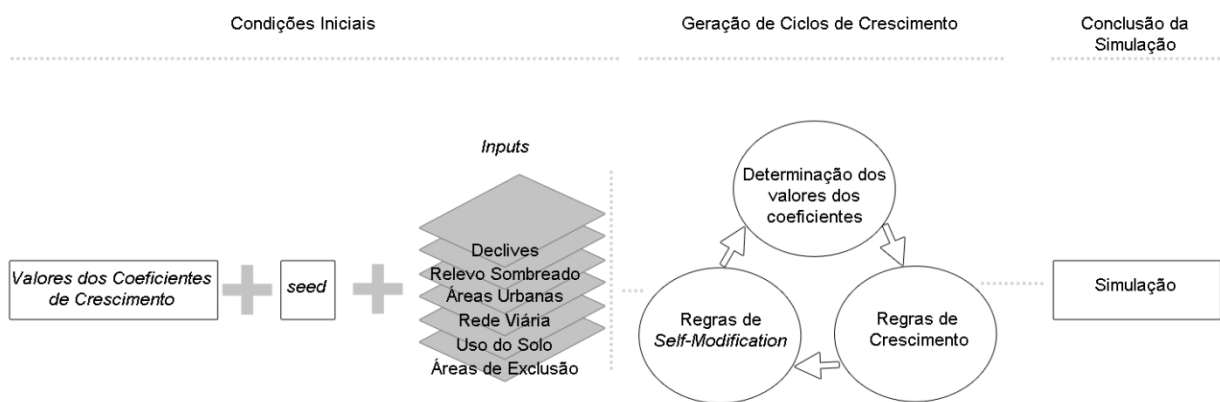
## 3.4.7| PREVISÃO

A obtenção de cenários de previsão do crescimento urbano é o grande objectivo de todos estes processos que têm vindo a ser executados, nos quais a calibração desempenha um papel

fundamental, uma vez que esta permite que as previsões sejam o mais rigorosas possível. Assim, é necessário introduzir no modelo os valores que resultaram da última fase de calibração, pois são esses valores que vão permitir traçar uma tendência de crescimento urbano fundamentada com base em valores históricos, de forma a obter as previsões de crescimento urbano.

Para além da introdução dos valores da última fase de calibração é ainda necessário estabelecer o intervalo de tempo que se pretende obter as previsões. São necessárias pelo menos 100 iterações de *Monte Carlo* (US Geological Survey, 2003).

Na figura que se segue é possível visualizar de forma muito simples e esquemática todo o funcionamento do modelo *SLEUTH*.



**Fig. 13 – Funcionamento do modelo *SLEUTH*. Fonte: (Chaudhuri & Clarke, 2013)**

### 3.4.8| APLICAÇÕES DO *SLEUTH*

O modelo já foi aplicado em vários países do mundo, nomeadamente em 66 cidades e regiões. Inicialmente apenas era utilizado nos Estados Unidos da América (Chaudhuri & Clarke, 2013).

A primeira aplicação do *SLEUTH* decorreu em 1997 e estava integrada no projecto *HILT*. A área de estudo era a Baía de São Francisco no estado da Califórnia e tinha como objectivo prever o crescimento urbano para 2100 (Keith C. Clarke, Hoppen & Gaydos, 1997).



Fig. 14 – Aplicações do modelo *SLEUTH* em todo o mundo. Fonte: (Chaudhuri & Clarke, 2013)

Fora dos EUA a primeira aplicação do modelo foi em Portugal no ano de 2002 elaborada por Elisabete Silva e Keith Clark. O estudo tinha como objectivo a calibração do autómato para cidades europeias, neste caso Lisboa e Porto e posteriormente fazer uma comparação entre os cenários de expansão urbana dos casos de estudo para 2010 e 2025 (Silva & Clarke, 2002).

Em Portugal a utilização do modelo *SLEUTH* ainda foi pouco explorada, e para além do estudo mencionado anteriormente destacam-se também os trabalhos elaborados em teses de mestrado/doutoramento para o concelho de Cabeceiras de Basto, concelho de Albufeira e região do Algarve.

O estudo aplicado ao concelho de Cabeceiras de Basto foi da Autoria de Pedro Costa no âmbito da tese de mestrado em 2010. O objectivo era a obtenção de cenários de crescimento urbano para os anos de 2021 e 2030, tendo em consideração a RAN e a REN (Costa, 2010).

Em 2013, João Rodrigues aplicou o *SLEUTH* também no âmbito da sua tese de mestrado, ao concelho de Albufeira com o objectivo de estudar a influência que a REN tem no processo de urbanização (Rodrigues, 2013). Foram elaborados dois tipos de previsões para os anos 2012, 2017, 2022 e 2026, uma utilizando as restrições de utilidade pública e a outra sem essas restrições de para que se pudesse fazer uma comparação e perceber de facto a influência da REN no crescimento urbano. (Rodrigues, 2013).

No estudo efectuado para o Algarve, na tese de doutoramento de Eric Vaz, foram elaborados três cenários distintos, um com interesses ecologicos, outro com interesses economicos e ainda um com a tendencia de crescimento actual. O objectivo é identificar o cenário que melhor se ajusta à região e que desta forma permite a construção de um modelo de crescimento urbano sustentável para 2020 (Vaz, 2011).

São ainda de destacar dois estudos que decorreram nos EUA e que tinham como objectivo simular diversos cenários de políticas urbanas à semelhança daquilo que se pretende elaborar na presente tese. Estes estudos serviram como base para elaborar metodologia de utilização do modelo para o caso de estudo que se encontra explicada no capítulo 4.

Num dos estudos o *SLEUTH* foi utilizado para simular os impactes de futuras políticas de urbanização na área metropolitana de *Baltimore – Washington*. Este estudo surgiu como consequência da deterioração da qualidade da água e dos habitats aquáticos da baía de *Chesapeake* provocada pelo crescimento urbano descontrolado. Assim sendo, o objectivo principal é avaliar políticas de crescimento urbano que minimizem os problemas mencionados anteriormente (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).

De forma a garantir que as previsões sejam o mais próximo da realidade possível, foi efectuado um exercício de avaliação de precisão espacial. A precisão espacial inicialmente era de 93% tendo sido detectadas algumas limitações no modelo, nomeadamente erros de omissão e erros de excesso, após algumas alterações a precisão espacial passou a 97% (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).

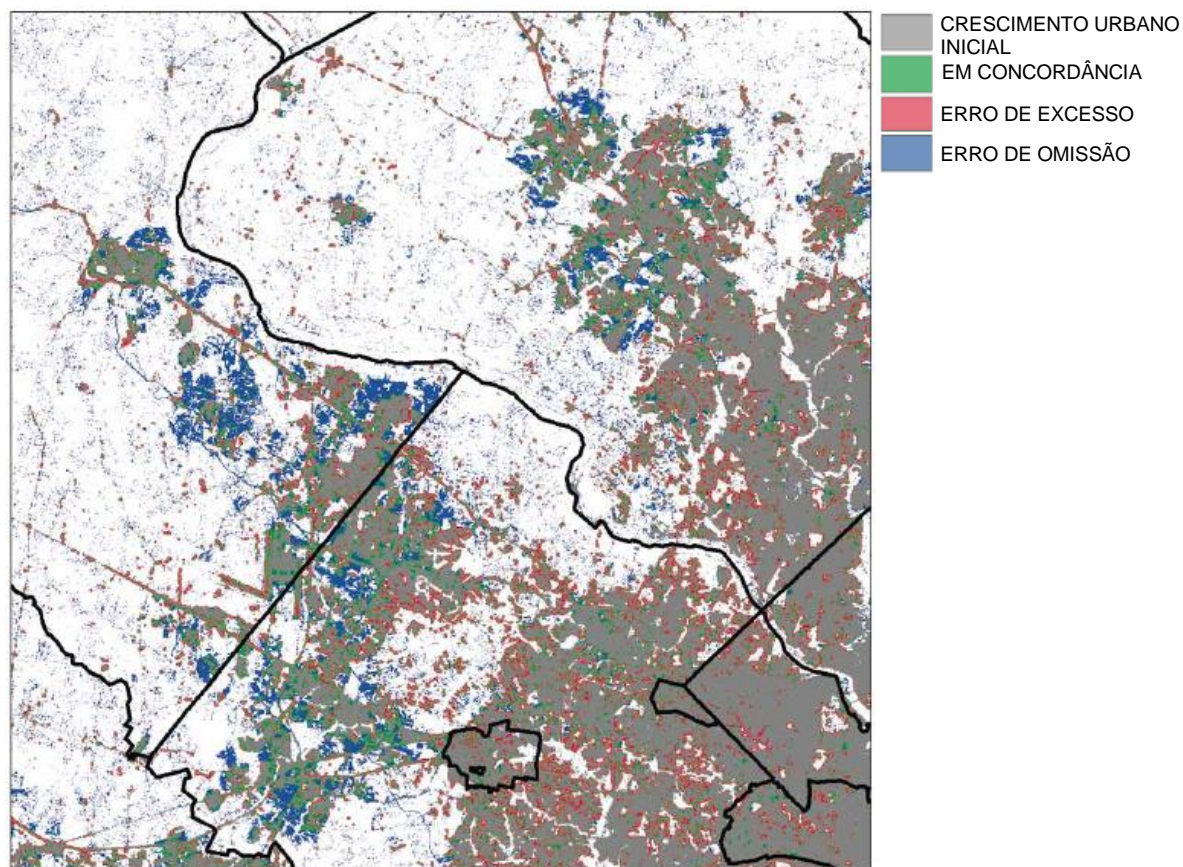
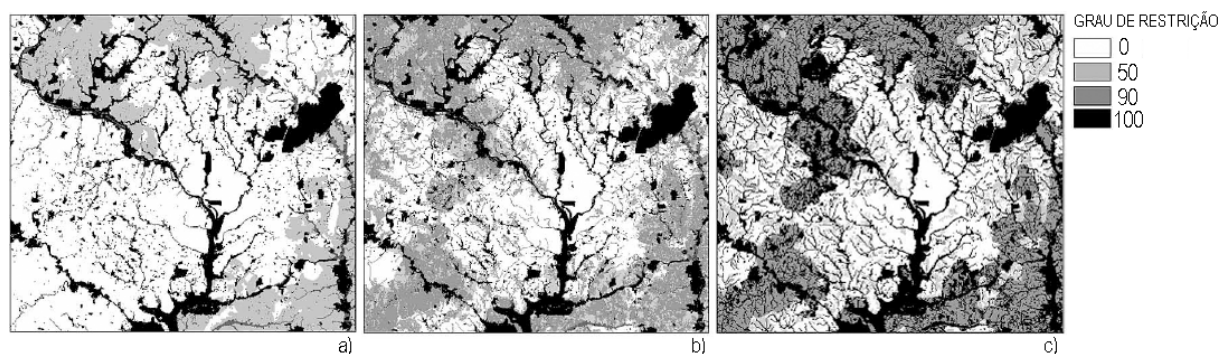


Fig. 15 – Avaliação de precisão espacial do *SLEUTH*. Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).

Foram desenvolvidos três cenários distintos baseados em diferentes políticas de crescimento urbano:

- 1) **Tendências Actuais:** reflecte as políticas que se encontram em vigor. Todos os parques estão totalmente protegidos contra o processo de urbanização. As zonas húmidas, as linhas de água bem como as suas zonas adjacentes têm uma protecção parcial (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).
- 2) **Crescimento Controlado:** reflecte uma grande preocupação na protecção dos recursos naturais. As linhas de águas e respectivas zonas adjacentes e as zonas húmidas têm um maior grau de protecção neste cenário. A floresta e a agricultura também se encontram protegidas. São consideradas as *Smart Growth Areas* cujo nível de protecção aumenta fora do perímetro estabelecido (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).
- 3) **Crescimento Ecologicamente Sustentável:** é um cenário mais restritivo que limita fortemente o crescimento urbano e protege com um grau mais elevado os recursos naturais. Os elementos considerados são semelhantes ao cenário anterior, sendo a diferença o grau de protecção que neste caso é mais elevado. Outra diferença é o aumento da largura das zonas adjacentes às linhas de água (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).

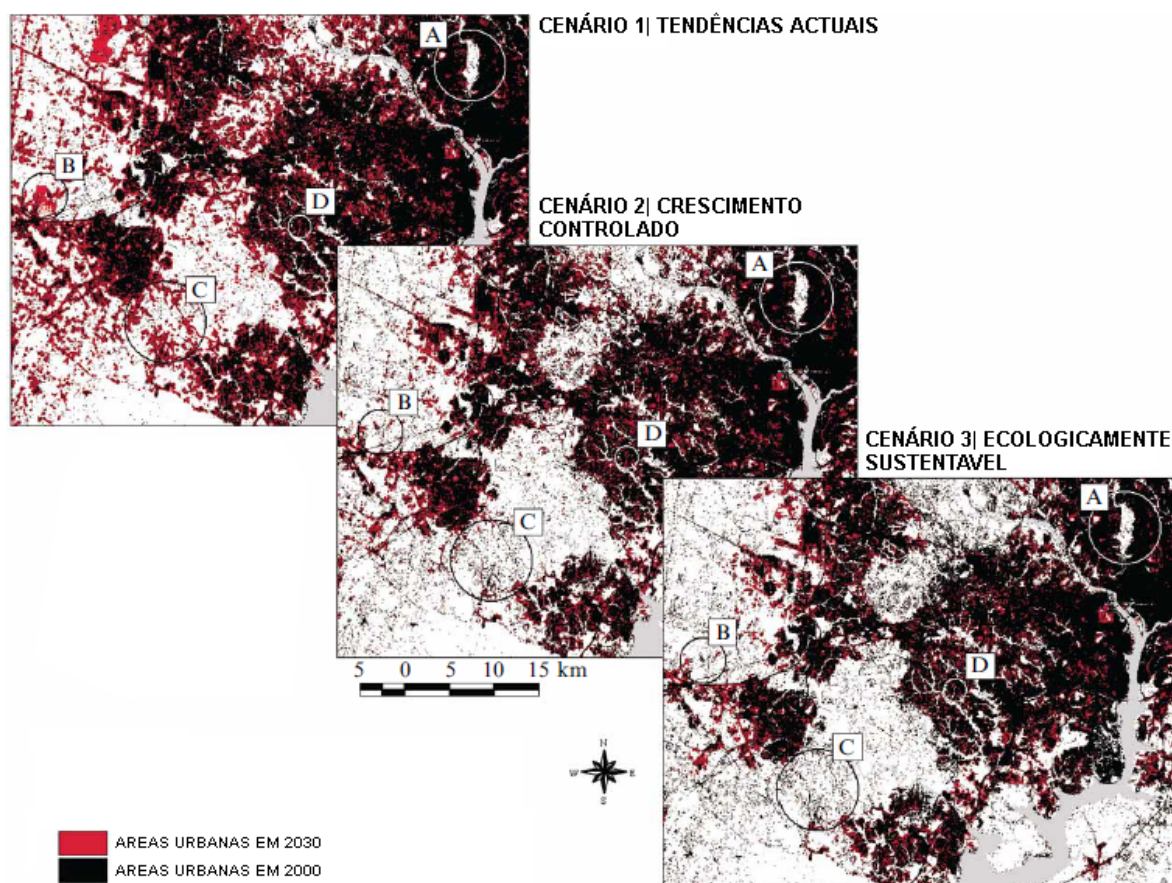


**Fig. 16 – Áreas de Exclusão do cenário a) Tendências Actuais, b) Crescimento Controlado e c) Crescimento Ecologicamente Sustentável. Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).**

Foram então obtidas as previsões para 2030 de acordo com os três cenários descritos, tal como se pode ver na figura 17.

O cenário das Tendências Actuais permite que as áreas na periferia da cidade, quer sejam rurais ou florestais, sejam urbanizadas trazendo consequências negativas para a qualidade da água. Os outros dois cenários produzem padrões de crescimento mais restritos e consomem menos recursos naturais (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).





**Fig. 17 – Simulações do crescimento urbano para 2030 de acordo com os três cenários elaborados (Tendências Actuais; Crescimento Controlado e Crescimento Ecologicamente Sustentável). Fonte: (Jantz, Goetz & Shelley, 2004b).**

O modelo *SLEUTH* foi também utilizado para ajudar na tomada de decisões relativamente a políticas de crescimento urbano em Santa Barbara no estado da Califórnia, à semelhança do estudo descrito anteriormente. A visualização fornecida pelas previsões do autómato ajuda a prever os impactes de determinadas decisões, permite avaliar a opinião da comunidade e assim agir em conformidade (Candau & Goldstein, 2002b).

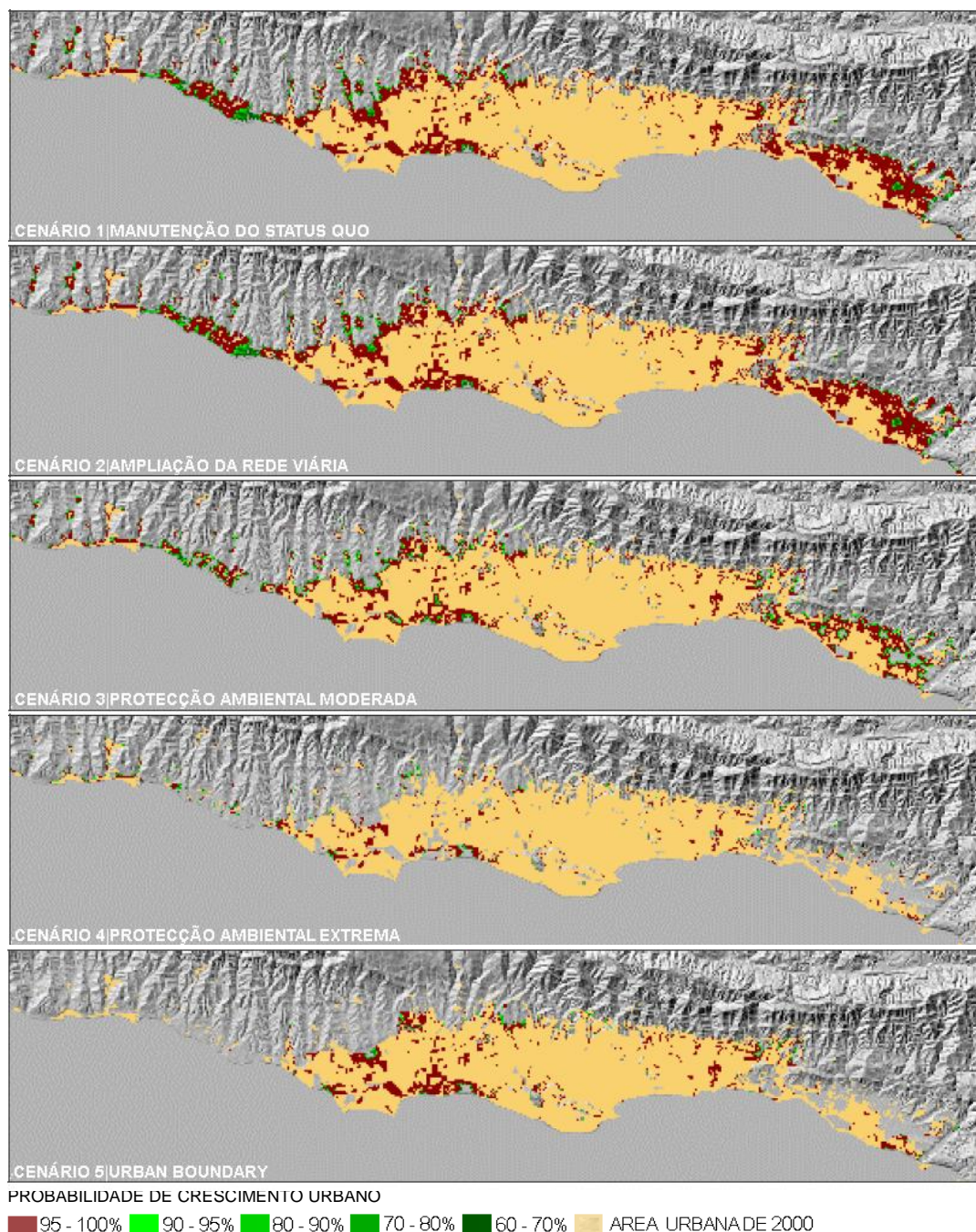
Para este estudo foram desenvolvidos cinco cenários diferentes (Candau & Goldstein, 2002b):

- 1) Manutenção do *status quo*: Todos os parques, áreas protegidas e corpos de água estão totalmente protegidos.
- 2) Ampliação da Rede Viária: utiliza como base as áreas de exclusão do cenário anterior e introduz uma modificação no ficheiro da rede viária: (1) todas as estradas com potencial para serem auto-estradas foi atribuído o valor 100 (o mesmo valor dado às vias primarias) e (2) Foram adicionadas as estradas que ainda estão em processo de construção.
- 3) Protecção Ambiental Moderada: Este cenário utiliza também como base as áreas de exclusão do primeiro cenário e são introduzidas as áreas ecologicamente vulneráveis com 50% de

protecção. As áreas adicionadas são: (a) todas as áreas agrícolas, (b) cabeceiras das linhas de água e (c) áreas de recarga de aquíferos.

- 4) Protecção Ambiental Extrema: utiliza como base as áreas de exclusão do cenário de Protecção Ambiental Moderada mas neste caso os valores de protecção passam a ser 100%.
- 5) *Urban Boundary*: Utiliza como base as áreas de exclusão do cenário de Manutenção do *status quo* e adiciona o ficheiro “*Urban Boundary*” de forma a restringir o crescimento urbano.

Com base nos cenários descritos anteriormente foram obtidas as previsões para 2030.



**Fig. 18 – Simulação do crescimento urbano para 2030 de acordo com os cinco cenários desenvolvidos.**  
**Fonte: (Candau & Goldstein, 2002b)**



#### 4.1| ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na costa ocidental da Península Ibérica, tendo como limite Norte o rio Tejo, a oeste o Oceano Atlântico e a Sul o Estuário do Sado, tirando partido de uma localização privilegiada no contexto nacional. A delimitação da área de estudo corresponde às Cartas Militares 431, 432, 433, 441-b, 442, 443, 444, 453, 454, 455, 464, 465, 466 e 475 e equivale a uma área territorial de aproximadamente 1432,7 km<sup>2</sup>. Integra-se quase na totalidade no Distrito de Setúbal, com a excepção de uma pequena área pertencente ao concelho de Benavente, e condiz em grande parte à sub-região da Península de Setúbal, que se integra na região de Lisboa. Na área de estudo estão presentes doze concelhos nomeadamente Almada, Alcochete, Barreiro, Benavente, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Grândola e Alcácer do Sal.



Fig. 19 – Área de Estudo. Fonte: *Google Earth*. Tratamento: Autor.

Os elementos caracterizadores notáveis desta paisagem são as Arribas de Almada e Trafaria e a Arriba Fóssil da Costa da Caparica, as praias da Costa da Caparica, a Lagoa de Albufeira, o Cabo

Espichel, a Serra da Arrábida, a restinga de Troia, o Estuário do Sado e também as margens do Estuário do Tejo, as áreas agrícolas e áreas de Montado. A área urbana concentra-se principalmente nos concelhos que se localizam junto ao estuário do Tejo. A Serra da Arrábida representa a maior elevação, atingindo a cota de 501 metros no Formosinho (Franco, 2011).

## **4.2| EVOLUÇÃO DAS ÁREAS URBANAS DESDE O FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ 2014**

Ao longo dos séculos a presença do Tejo e a configuração topo-morfológica deste local provocaram o isolamento da Península de Setúbal da Grande Lisboa, conservando as características rurais de latifúndio que ainda são facilmente observáveis em muitas áreas. Contudo, com as transformações que ocorreram nas últimas cinco décadas, principalmente a partir da década de 80, a configuração territorial da Península de Setúbal alterou-se significativamente (Aniceto, 2010).

### **4.2.1| FINAL DO SÉCULO XIX ATÉ 1940**

O período entre 1880 e 1940 foi marcado por três acontecimentos de grande importância, a monarquia constitucional até 1910, o regime republicano de 1910 até 1926 e por último o Estado Novo após a revolução de 1926. Todos estes acontecimentos trouxeram implicações no crescimento urbano (Teixeira, 1992).

No final do séc. XIX, Setúbal era um destino de férias devido às excelentes condições climáticas e às praias que eram recomendadas pela medicina e publicistas. Devido a este facto iniciaram-se construções de edificado nas zonas marginais (Arquitecturas do Mar, 2009).

Por volta do ano de 1920 houve um crescimento demográfico acentuado na Península de Setúbal, que se deve essencialmente à melhoria da rede viária e dos transportes e ainda devido à industrialização crescente da margem sul do Tejo. Ainda assim o período republicano, de 1910 a 1926, é marcado, na generalidade, por um baixo desenvolvimento urbano de tal contexto geográfico, o mesmo aconteceu na primeira fase do conservadorismo fascizante do regime salazarista, de 1928 a 1940. A indústria desenvolve-se lentamente com base no modelo de baixos custos de mão-de-obra e matérias-primas, em que parte destas era proveniente das colónias, constituindo um forte condicionamento industrial e incentivo à substituição de importações (George & Morgado, 2005).

### **4.2.2| DE 1950 A 1960**

As principais transformações das áreas urbanas tiveram início na década de 50 do século XX, coincidindo com o início da implementação dos Planos de Fomento, que tinham como objectivo a dinamização da economia nacional. Desta forma, foram feitos elevados investimentos públicos na criação de unidades fabris, tais como a Lisnave, Setenave, ou a Siderurgia Nacional. Estas estabeleceram-se essencialmente no arco ribeirinho poente do Tejo, nos concelhos de Almada,

Seixal, Barreiro, e a sul, em Setúbal (Aniceto, 2010). A criação de novos postos de trabalho associados às unidades fabris incentivou a migração, essencialmente provenientes das áreas rurais, tendo conduzido a um aumento populacional e consequentemente à expansão das áreas urbanas na forma de núcleos suburbanos do tipo dormitório (Aniceto, 2010).

#### 4.2.3| DE 1960 A 1990

Durante o período de 1960 a 1990 ocorrem transformações de grande importância nomeadamente o fracasso reforma de Marcelo Caetano, que em 1968 sucede a Salazar, levando a um agravamento das guerras coloniais. O choque petrolífero de 1973 e a crise económica europeia motiva o fenómeno da inflação, destabilizando a economia. O regime cai em Abril de 1974, a democracia instala-se e atravessa-se um período de grande instabilidade política. Com a descolonização regressam 800000 portugueses das ex-colónias (George & Morgado, 2005).

O espaço urbano nestas décadas expandia-se em função da cidade de Lisboa, cujos concelhos periféricos constituíam verdadeiros dormitórios da população que trabalhava na capital. Tal facto relaciona-se com a falência do modelo económico de índole protecionista que fora implantado na década de 50 que levou à extinção de unidades fabris e consequentemente ao despedimento de mão-de-obra. As pessoas eram assim obrigadas a procurar emprego em Lisboa (Neto & Teixeira, 2011). Os núcleos urbanos de Almada, Seixal, Barreiro e Montijo cresceram em função das ligações fluviais a Lisboa e das indústrias, a sul, no concelho de Setúbal a população cresceu com base na indústria naval que se encontrava lá instalada. Desta forma foram surgindo bairros operários associados às unidades fabris e, no caso de Setúbal, à indústria naval (Aniceto, 2010).

As características da cidade industrial marcavam fortemente o território, o que conduziu ao aparecimento de espaços urbanos muito homogéneos (Aniceto, 2010).

O processo de crescimento urbano aumentou também com a construção da Ponte 25 de Abril em 1966, levando a uma expansão dos aglomerados já existentes na península bem como o aparecimento de vários novos núcleos dispersos (Quinta-Nova, 1995).

À medida que as áreas urbanas legais se expandiam começaram a emergir também, como resposta à crescente procura de habitação, as áreas urbanas de génese ilegal, que tiveram origem nos concelhos de Almada, Seixal e Sesimbra e mais tarde espalharam-se para os restantes. Estes loteamentos ilegais surgem de acordo com a disponibilidade de terrenos com um mínimo de acessibilidade quer a nível local quer a nível metropolitano (George & Morgado, 2005).

O crescimento urbano era assim caracterizado por uma dispersão de grandes e pequenos fragmentos com densidades elevadas e crescimento rápido ou fragmentos com baixas densidades e crescimento lento (George & Morgado, 2005). O território era marcado por uma estrutura parcelar de origem florestal e que levou à criação de espaços urbanos pouco consolidados e pouco estruturados.

As habitações permanentes situavam-se nas zonas mais interiores, enquanto as habitações secundárias se encontravam mais perto do litoral (Aniceto, 2010).

Os acessos são feitos, ainda, pelas estradas nacionais juntamente com a ferrovia, o que incita a um desenvolvimento urbano centrado na proximidade das estações ou com acesso facilitado às estradas nacionais (George & Morgado, 2005).

Na Península de Troia nas décadas de 1960 e 1970, foram construídos diversos edifícios destinados a um turismo de massas. Em 1962 a Sociedade Agrícola de Troia vende a propriedade à Soltróia com o propósito de transformar a península numa importante zona de turismo. Em 1964 é confirmada a aprovação do anteprojecto geral de urbanização da península de Troia, que tinha como objectivo transformar a península "na mais cosmopolita zona turística portuguesa". A Soltróia associou-se à Torralta em 1969 e juntas constituem a Sociedade Turística da Ponta do Adoxe, conhecida apenas por Torralta (Ferreira, 2004b).

A década de 80 foi marcada por uma grave crise socioeconómica na Península de Setúbal, relacionada à reestruturação da base económica da AML que se materializou essencialmente numa grande desindustrialização associada às dinâmicas sectoriais das indústrias pesadas (Neto & Teixeira, 2011; Direcção Geral do Desenvolvimento Regional, 1993). Desta forma, a população confrontada com o desemprego foi forçada a procurar alternativas fora da Península de Setúbal, levando ao aumento da dependência relativamente à Grande Lisboa, o que acentuou ainda mais o conceito de espaço dormitório (Neto & Teixeira, 2011). Apenas o grande investimento da AutoEuropa constituiu uma excepção. Desta forma o processo de suburbanização da margem sul aumentou significativamente justificado não só pela procura de mão-de-obra em Lisboa mas também devido à crescente utilização de transportes individuais e ainda pela melhoria dos acessos (Aniceto, 2010).

A terciarização e globalização das sociedades trouxeram repercussões importantes na alteração do tecido social e ainda na organização espacial levando à construção da metrópole policêntrica (Aniceto, 2010).

#### **4.2.4| DE 1990 ATÉ 2014**

O período de 1991 a 2001 caracterizou-se pela consolidação da democracia, em que o contexto económico global era favorável e os governos de maioria absoluta beneficiaram dos generosos fundos europeus que vieram a contribuir para o crescimento económico, e com especial repercussão na expressão urbana do território. É na década de 90 que surgem os primeiros Planos Directores Municipais, no seguimento das reformas efectuadas pelos Arquitectos Paisagistas Gonçalo Ribeiro Telles e António Viana Barreto (reformas essas implementadas durante os anos 80), os quais estabeleceram as bases para o ordenamento do território em Portugal. (George & Morgado, 2005).

Na década de 90 do século XX os novos padrões das áreas urbanas evidenciaram-se. Desta vez o crescimento da periferia não se fez em função da proximidade a Lisboa mas sim do processo de

descentralização residencial e produtiva devido à redução da capacidade atractiva da área metropolitana e numa expansão significativa da rede de autoestradas. Isto levou a que Lisboa perdesse habitantes para os concelhos que se encontram na periferia. Os primeiros núcleos suburbanos começaram a dar origem a centros terciários com alguma importância e um dos grandes exemplos é o caso de Almada (Aniceto, 2010).

O espaço urbano da Península de Setúbal é marcado pelo policentrismo, que teve origem nos novos processos de produção, distribuição e consumo da sociedade, espacialmente concretizados através de parques industriais, de escritórios e tecnológicos, centros de consumo, lazer e novos espaços residenciais (Aniceto, 2010).

A Península de Setúbal é um espaço favorável para a deslocalização de indústrias de Lisboa e ainda para a implementação de unidades produtivas como a Portucel, Lisnave, Secil e AutoEuropa. Tal mudança deve-se ao facto desta zona beneficiar de boas acessibilidades e da proximidade a Lisboa (Aniceto, 2010).

O turismo e lazer são atividades que ocorrem com frequência favorecidos pela qualidade ambiental existente (Arquitecturas do Mar, 2009). Como exemplo surge a Península de Troia, onde actualmente está a decorrer uma profunda remodelação urbano-paisagística com o objectivo de modificar as construções turísticas ocorridas nas décadas de 60 e 70 do século XX, com um impacte volumétrico e visual muito significativo, que entretanto se encontram degradadas (Anon., 2014).

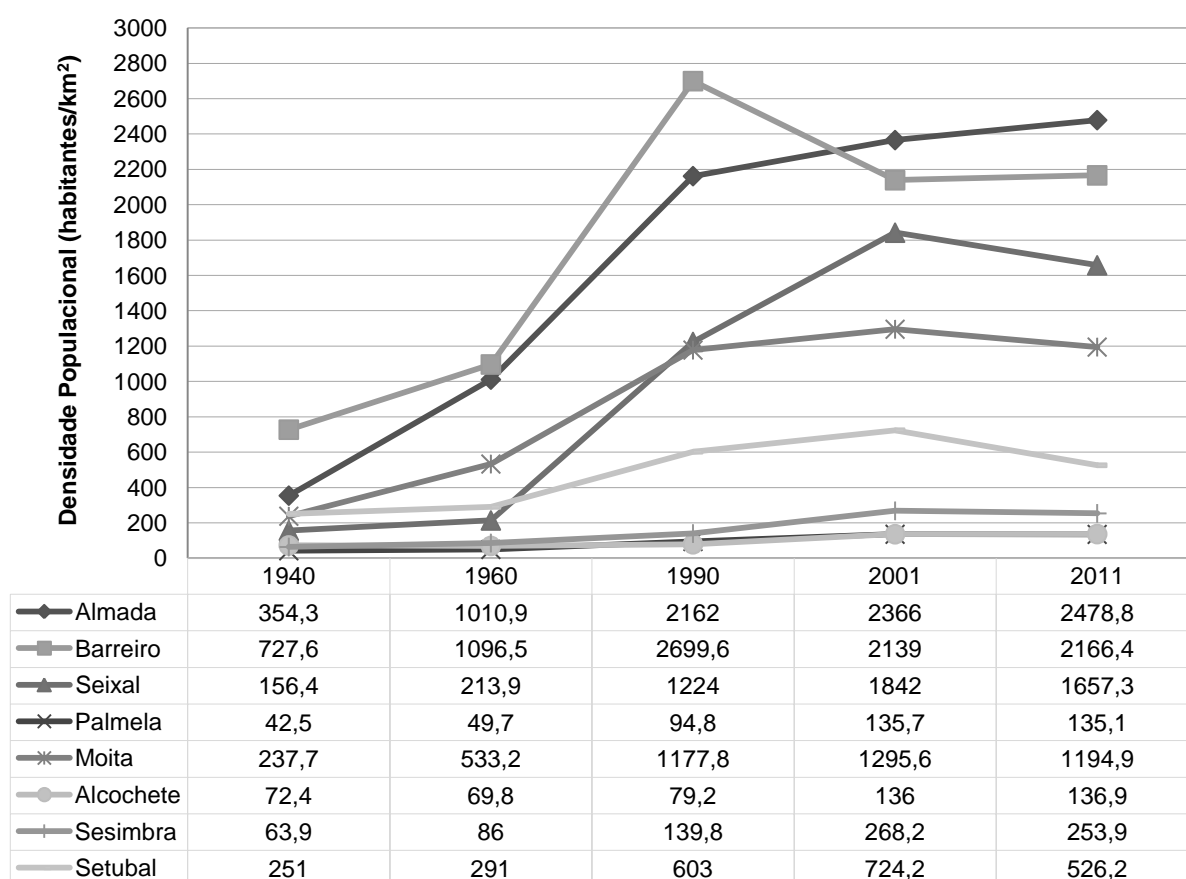
De forma geral é possível concluir que as alterações urbanas devem-se essencialmente à melhoria e aumento da acessibilidade uma vez que permite uma maior proximidade a Lisboa e ainda aproxima os diferentes concelhos uns dos outros, constituindo um factor atractivo para instalação de novos moradores. Nos concelhos de Alcochete, Montijo e Moita o crescimento urbano foi impulsionado pela construção da Ponte Vasco da Gama, da A12, do IC32 e IC3, enquanto Palmela foi devido à construção do segundo troço do EFNS e do acesso à A2 que faz a ligação à Ponte 25 de Abril (Aniceto, 2010).

Para além da acessibilidade existem ainda outros factores que contribuíram para o aumento populacional, nomeadamente a saturação do mercado habitacional em Lisboa, os preços mais baixos no custo da habitação oferecidos pelos concelhos da margem sul, especialmente quando comparados a Lisboa, a existência de condições ambientais de qualidade, a oportunidade dos novos habitantes usufruírem de espaços com características rurais próximos de Lisboa. E no caso de Palmela a presença do *cluster* Automóvel na Península de Setúbal, chefiado pela AutoEuropa, que conduziu à fixação de mão-de-obra e por consequente à instalação de novos habitantes (Aniceto, 2010).

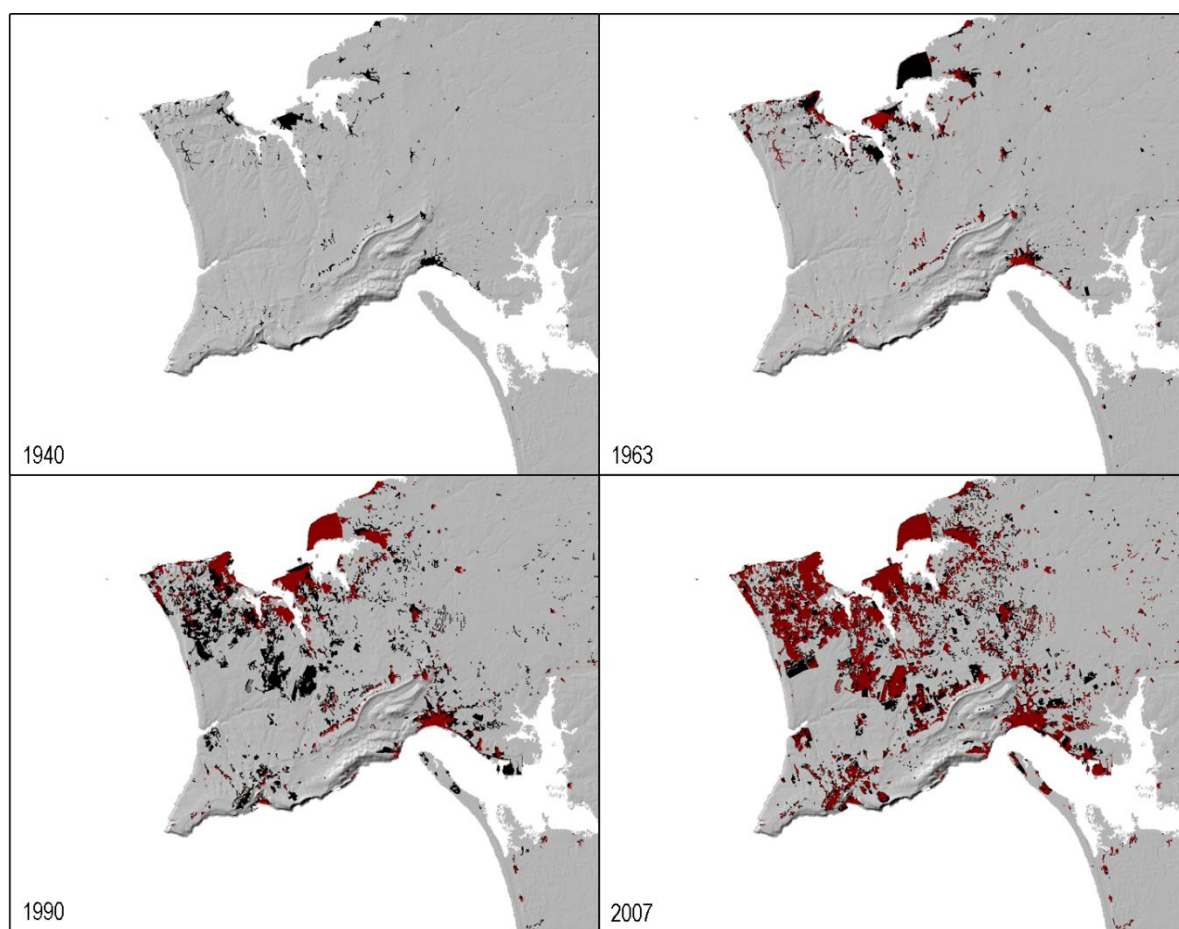
Assistiu-se ao longo dos anos a um abandono progressivo do modelo monocêntrico (George & Morgado, 2005) e Barata Salgueiro afirma que, as transformações estruturais ocorridas conduziram a um *“alongamento do território sobre o qual incide o processo de metropolização, aproximando Setúbal e Lisboa, criando uma realidade metropolitana a caminho do policentrismo, facilitando a*

maior dispersão do povoamento periférico, a expansão das residências secundárias e a diversidade da ocupação dos territórios periurbanos.”(Salgueiro, 2002).

A partir do ano de 2007 até a actualidade verifica-se um abrandamento gradual do crescimento urbano que se deve às consequências da crise que o país enfrenta que têm origem na crise financeira global e na crise da dívida soberana europeia (Gil, 2013).



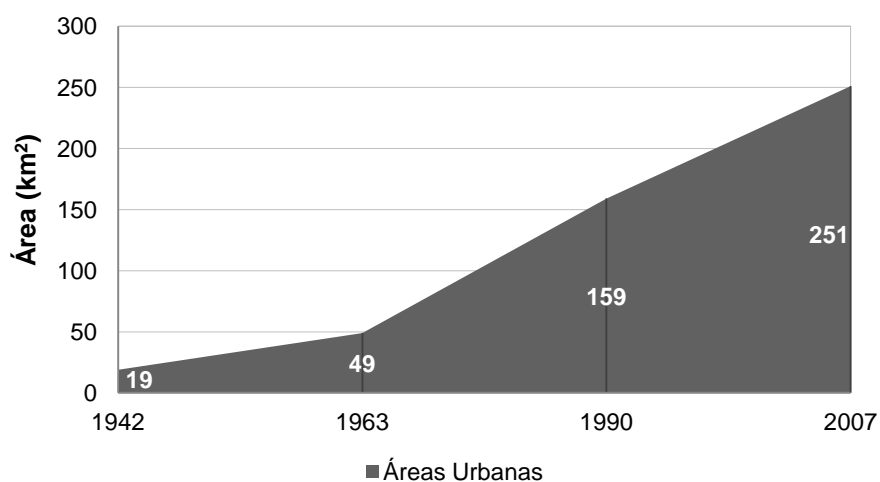
**Fig. 20 – Densidade populacional dos concelhos de Almada, Barreiro, Seixal, Palmela, Moita, Alcochete, Sesimbra e Setúbal nos anos de 1940, 1960, 1990, 2001 e 2011. Fonte: (INE, 1945; INE, 1960; INE, 1970; INE, 1991; INE, 2001; INE, 2011)**



LEGENDA:

■ Áreas urbanas que surgiram entre a última data referida e a presente  
 ■ Áreas urbanas existentes desde a data anteriormente referida

**Fig. 21 – Evolução da Áreas Urbanas.** Fonte: (SROA, 1950; Centro Nacional de Informação Geográfica, 1990; Instituto Geográfico Português, 2011; Instituto Geográfico do Exército, 1938a; Instituto Geográfico do Exército, 1942; Instituto Geográfico do Exército, 1938b; Instituto Geográfico do Exército, 1940).  
 Tratamento: Autor

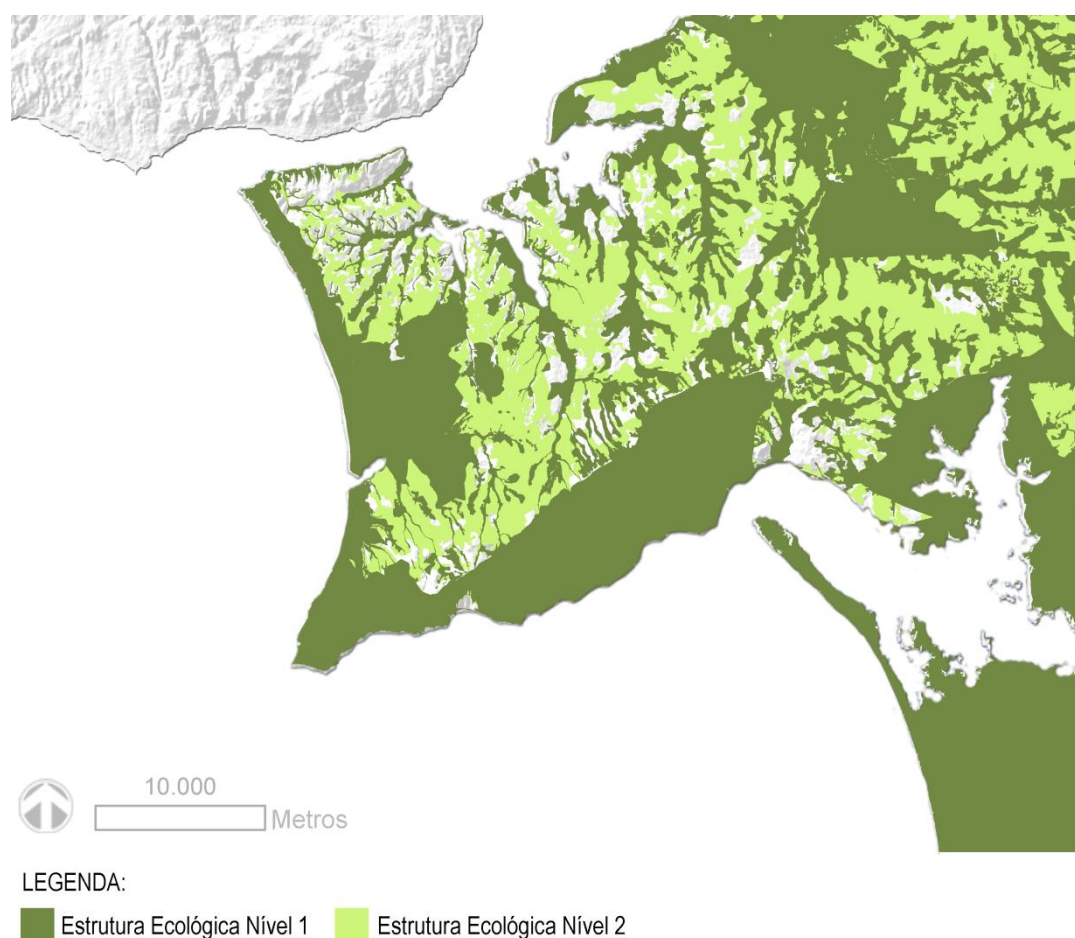


**Fig. 22 – Evolução da área das Áreas Urbanas.** Fonte: (Autor).



#### 4.3| ESTRUTURA ECOLÓGICA DA PENÍNSULA DE SETÚBAL

Com a publicação do Regulamento Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, materializado pelo Decreto-Lei n.º 380/99, 22 de Setembro passou a ser exigida a delimitação da Estrutura Ecológica nos âmbitos de diversos planos, designadamente PMOTs e PROTS. Dentro das abordagens desenvolvidas para a delimitação da EE destaca-se a de Magalhães (2005), que tem continuado a evoluir com base nos projectos de investigação decorridos no CEAP e que culminaram na apresentação de uma proposta de delimitação à escala nacional da EE (Magalhães *et al.*, 2013). A Estrutura Ecológica da Península de Setúbal faz parte da Estrutura Ecológica Nacional desenvolvida pelo CEAP e é composta pela Estrutura Ecológica Nível 1 e Estrutura Ecológica Nível 2. Equivale a uma área territorial de 1036 km<sup>2</sup> e ocupa 91% da área de estudo.



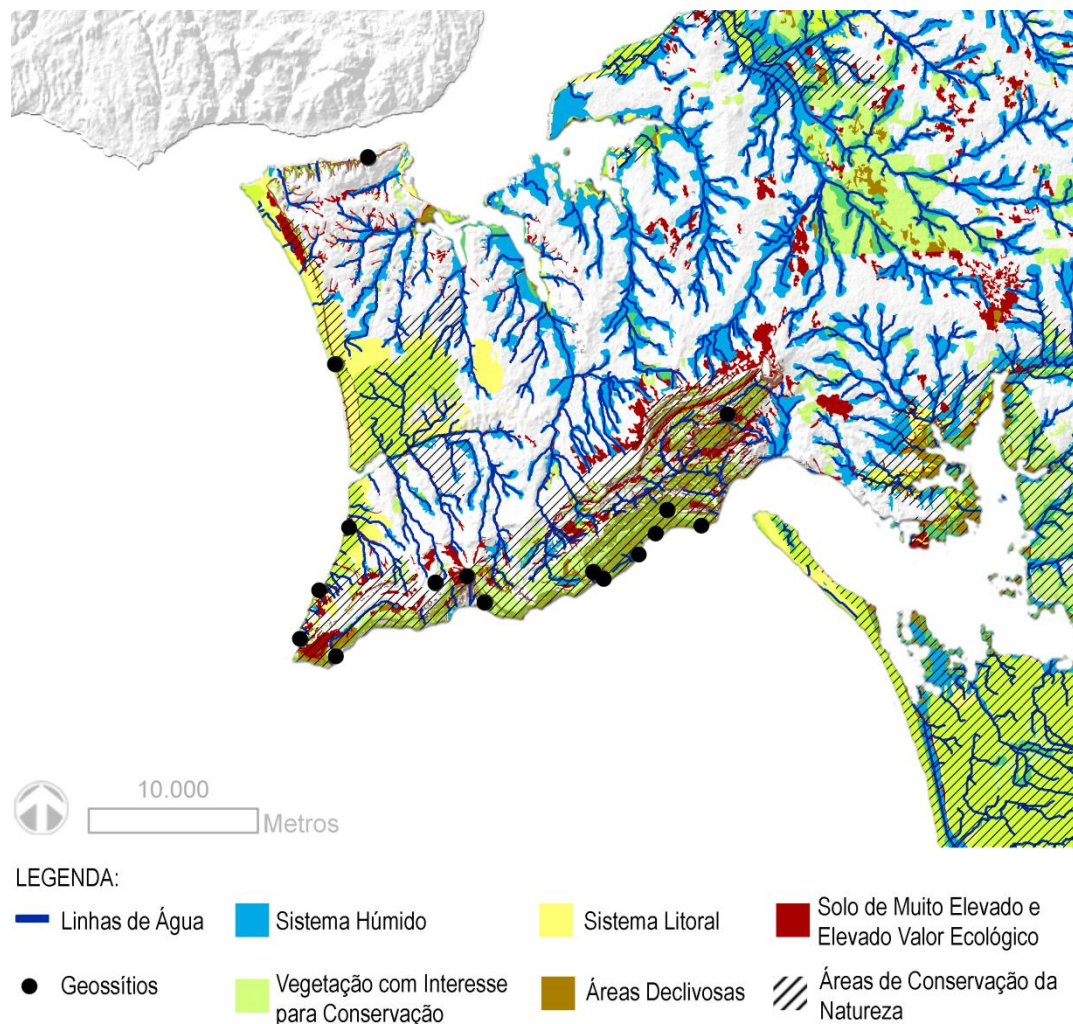
**Fig. 23 – Estrutura Ecológica Nível 1 e Nível 2. Fonte: (CEAP, 2013a). Tratamento: Autor.**

##### 4.3.1| ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 1

A Estrutura Ecológica Nível 1 equivale a uma área territorial de 894 km<sup>2</sup>, ocupando 62% da área de estudo e integra as componentes com valor ou grau de sensibilidade ecológica mais elevado, nomeadamente as Linhas de Água, o Sistema Húmido, as Áreas Declivosas, os Solos de Elevado e



Muito Elevado Valor Ecológico, o Litoral, a Vegetação Natural e Semi-Natural com Valor de Conservação Elevado e Muito Elevado e a Áreas de Conservação da Natureza que incluem: Rede Natura 2000, IBAs, Sítios Ramsar, Rede de Reservas Biogenéticas do Conselho da Europa, Reservas da Biosfera da UNESCO e Rede Nacional de Áreas Protegidas (Magalhães, 2013).



**Fig. 24 – Estrutura Ecológica Nível 1 com as componentes diferenciadas. Fonte: (CEAP, 2013a). Tratamento: Autor.**

## LINHAS DE ÁGUA

Apesar do Rio Tejo e do Rio Sado limitarem a área de estudo estes não estão incluídos na mesma. Desta forma não se encontram presentes linhas de água principais. As linhas de água secundárias correspondem ao Rio Judeu, o Rio Coina, Ribeira Vale Michões, Vala Real, Vala Real de Malpique, Ribeira da Apostiça e a Ribeira da Marateca. Das linhas de água terciárias destacam-se a Ribeira do Vale de Cão, Rio da Moita, Vala da Sobreda, Ribeiro Aqualva, Esteiro das Moitas, Esteiro do Almo, Vala do Negro e Ribeira do Vale de Cão. As restantes linhas estão incluídas nas linhas de água quaternárias e correspondem às linhas de água de menor expressão.

## SISTEMA HÚMIDO

Os sistemas húmidos e massas de água constituem a componente de maior significado ecológico para o funcionamento da Paisagem (Magalhães & Cunha *in* Magalhães, 2013). Esta componente, que equivale a uma área de 494 km<sup>2</sup> e ocupa 34% da área de estudo, é constituída pelas baixas de Almada, Corroios, Coina, Barreiro, Moita, Samouco e Alcochete, que se localizam nas margens ribeirinhas do Tejo, e ainda as baixas do Sado.

## ÁREAS DECLIVOSAS

Os declives acentuados, isto é superiores a 25%, correspondem apenas às áreas da Costa de Almada e Trafaria, Arriba fóssil da Costada Caparica, Cabo Espichel, Sesimbra e Serra da Arrábida, sendo o restante território considerado quase na totalidade plano. Esta componente ocupa apenas 38 km<sup>2</sup> e equivale a 3% da área de estudo.

## SOLOS DE MUITO ELEVADO E ELEVADO VALOR ECOLÓGICO

Os solos de elevado e muito elevado valor ecológico ocupam uma área de 172 km<sup>2</sup> e que corresponde a 12% da área de estudo.

Neste caso a constituição do solo não é muito valiosa no que diz respeito à textura e ao teor em matéria orgânica, com excepção dos aluviossolos situados nos sistemas húmidos, ao longo das linhas de água. Contudo, a sua textura ligeira juntamente com relevos brandos permite a instalação de variadas culturas. A riqueza desta zona constitui por outro lado a fragilidade, isto deve-se ao facto do solo ser permeável que leva à vulnerabilidade dos aquíferos devido à poluição gerada pelas diversas actividades (Magalhães, 2007).

## LITORAL

As zonas litorais incluem situações tão distintas como as arribas do cabo Espichel, a Arriba Fóssil da Caparica, as de Sesimbra e da Arrábida, as praias encaixadas da costa de Sesimbra e do Portinho da Arrábida, as espreiadas da Caparica, de Albufeira, da Comporta, as dunas (ou medos) de Albufeira, as dunas da Comporta e a restinga de Troia. Toda esta faixa deve ser preservada da edificação e destinada a equipamentos colectivos que tenham em consideração a sensibilidade do contexto ecológico (Tenedório, 2003). Esta componente ocupa 406 km<sup>2</sup> e equivale a 28% da área de estudo.

## VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO DE ELEVADO E MUITO ELEVADO

A vegetação a conservar que totaliza uma área de 552 km<sup>2</sup> correspondendo a 39% da área de estudo, inclui as manchas de Montado e os Pinhais do Rei, dos Medos e de Albufeira, a Reserva

botânica das Dunas de Troia, bem como a vegetação de sapal, que apresenta também elevado valor ecológico, encontrando-se protegida pela Rede Natura 2000.

Destaca-se também a importância da vegetação climácica que é constituída por sobreiros (*Quercus suber*) e carvalho-cerquinho (*Quercus faginea*), localizando-se este último na Serra da Arrábida, onde se encontram também a azinheira e o pinheiro.

Apesar de em Alcácer do Sal o montado ser uma formação bem representada, na Península de Setúbal apenas existe uma mancha de montado, consequência da expansão da agricultura que contribuiu para a eliminação do sobreiro (Franco, 2011). As áreas agrícolas incluem principalmente a vinha, hortícolas e pomar.

É ainda de referir a presença de *Juniperus* nas areias do litoral, destacando-se a espécie *Juniperus turbinata*, a sabina da praia, que se encontra nas areias da Costa de Caparica e na península de Troia (Franco, 2011).

Junto ao Rio Sado ocorre a presença de pântanos, em que as espécies predominantes são os caniçais de *Phragmites australis*, os tabuais de *Thypha* spp. e os juncais de *Juncus* spp. e *Scirpus* spp (Franco, 2011).

## ÁREAS DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

Na área de estudo estão presentes seis Áreas Protegidas com estatuto legal de proteção, nomeadamente o Parque Natural da Serra da Arrábida, a Reserva Natural do Estuário do Sado, a Paisagem Protegida da Arriba Fóssil da Costa da Caparica, os Monumentos Naturais da Pedra da Mua, da Pedreira do Avelino e dos Lagosteiros, todos inseridos no Parque Natural da Arrábida. Em Portugal apenas existem oito monumentos naturais classificados, sendo que três deles localizam-se na área de Sesimbra, representando quase metade de todos os monumentos naturais classificados do país (Arquitecturas do Mar, 2009).

Encontram-se também cinco áreas que integram as Áreas Importantes para Aves, ou IBAs (*Important Bird Areas*), nomeadamente, o Estuário do Tejo, o Estuário do Sado, o Açude da Murta, a Lagoa Pequena e o Cabo Espichel.

A Serra da Arrábida constitui a única Reserva Biogenética existente na área de estudo.

Relativamente à Rede Natura 2000, pertencem às Zonas de Protecção Especial (ZPE), que têm como objectivo garantir a conservação das espécies de aves e seus *habitats*, o Estuário do Tejo, Estuário do Sado, Açude da Murta, Lagoa Pequena e Cabo Espichel e ainda estão presentes Sítios de importância Comunitária (SIC) que correspondem ao Estuário do Tejo, Arrábida Espichel, Estuário do Sado, Comporta/Galé e Fernão Ferro/ Lagoa de Albufeira.

O Estuário do Tejo, a Lagoa de Albufeira e o Estuário do Sado são também sítios RAMSAR.

Esta é a componente da Estrutura Ecológica Nível 1 que ocupa mais área, nomeadamente 607 km<sup>2</sup> e equivale a 42% da área de estudo.

## GEOSSÍTIOS

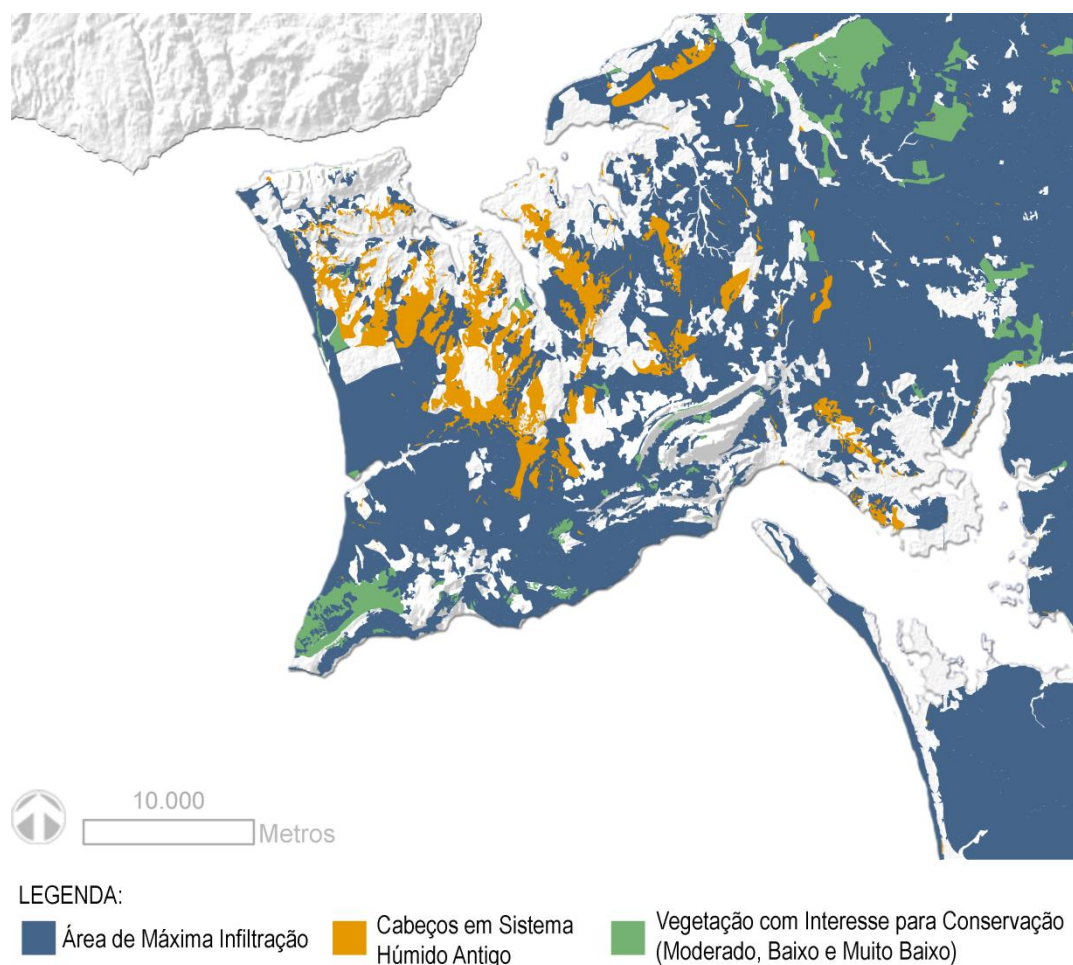
Na área de estudo estão presentes dezoito geossítios nomeadamente: Arriba da frente ribeirinha do Tejo, Microfalhas da Fonte da Telha, Arribas entre a foz da Fonte e Ribeira das Lages, Soleira da foz da Fonte e deformação no encaixante, Cabo Espichel, Avelino, Gesseira de Santana, Conglomerados intraformacionais do Alto da Califórnia, Anticlinal do Formosinho, Brecha da Arrábida na pedreira do Jaspe, Lapas de Santa Margarida e da Figueira Brava, Discordância do Portinho da Arrábida, Praia do Portinho da Arrábida, Fendas do Creiro, Falha normal de crescimento na Praia da Figueirinha, leques aluviais de bordo activo da bacia, relevos estruturais da cadeia da Arrábida e plataformas do Forte da Baralha.

**Tabela 5 – Área de cada Componente da EE1 e a percentagem que ocupa relativamente à área de estudo.**

COMPONENTE DA ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 1	ÁREA (km <sup>2</sup> )	PERCENTAGEM REALTIVAMENTE ÁREA DE ESTUDO (%)
ÁREAS DECLIVOSAS	38	3
SOLOS DE ELEVADO E MUITO ELEVADO VALOR ECOLÓGICO	172	12
LITORAL	406	28
SISTEMA HÚMIDO	494	34
VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO DE ELEVADO E MUITO ELEVADO	552	39
ÁREAS DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA	607	42

### 1.3.2| ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 2

A Estrutura Ecológica Nível 2 equivale a uma área territorial de 1064 km<sup>2</sup>, ocupando 91% da área de estudo e integra as componentes com menor grau de sensibilidade ecológica, nomeadamente: Cabeços em sistema húmido antigo, Áreas de máxima infiltração, Vegetação Natural e Semi-natural com Valor de Conservação Moderado, Baixo e Muito Baixo e Terras Altas (que não se encontram presentes na área de estudo) (Magalhães, 2013).



**Fig. 25 – Estrutura Ecológica Nível 2 com as componentes diferenciadas. Fonte: (CEAP, 2013b). Tratamento: Autor.**

#### VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO MODERADO, BAIXO E MUITO BAIXO

Esta componente ocupa uma área de 58 km<sup>2</sup> o que corresponde apenas a 4% da área de estudo. Encontram-se manchas de florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea na zona do Cabo Espichel, florestas onde predominam pinheiros e *Quercus* situadas junto à Aroeira, Serra da Arrábida e Marateca. Em Alcochete e no Norte do concelho de Palmela encontram-se algumas áreas que correspondem a culturas temporárias e áreas agrícolas heterogéneas.

#### ÁREAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO

Grande parte das áreas de máxima infiltração é constituída por formações do Pliocénico, do Plistocénico e do Holocénico, correspondendo a areias, aluviões e arenitos, o que significa que é formada por materiais extremamente permeáveis devido à elevada porosidade que constituem o sistema hidrogeológico da Bacia Tejo - Sado/ margem esquerda com formações aquíferas muito

importantes. A Serra da Arrábida também constitui uma destas áreas, contudo já não integra o sistema hidrogeológico mencionado a cima, os materiais datam do período Jurássico e Cretácico e são essencialmente calcários, neste caso a infiltração e a circulação da água é feita pelas fendas resultantes do processo de carstificação (Tenedório, 2003).

Esta é a componente da Estrutura Ecológica que mais área ocupa, 994 km<sup>2</sup> equivalendo a 69% da área de estudo.

#### CABEÇOS EM SISTEMA HÚMIDO ANTIGO

Os cabeços em sistema húmido antigo são zonas que podem estar sujeitas a cheias, contudo já se encontram praticamente todos edificados, representando 6% da área de estudo. A maior parte destas áreas situam-se no concelho do Seixal, Almada e Barreiro contudo existem também algumas áreas nos restantes concelhos mas de menor dimensão.

**Tabela 6 – Área de cada Componente da EE2 e a percentagem que ocupa relativamente à área de estudo.**

COMPONENTE DA ESTRUTURA ECOLÓGICA NÍVEL 2	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	PERCENTAGEM REALTIVAMENTE ÁREA DE ESTUDO (%)
VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO DE ELEVADO E MUITO ELEVADO	58	4
CABEÇOS EM SISTEMA HÚMIDO ANTIGO	81	6
ÁREAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO	994	69

#### 4.4| EVOLUÇÃO DA OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DAS COMPONENTES DA ESTRUTURA ECOLÓGICA PELA EXPANSÃO URBANA

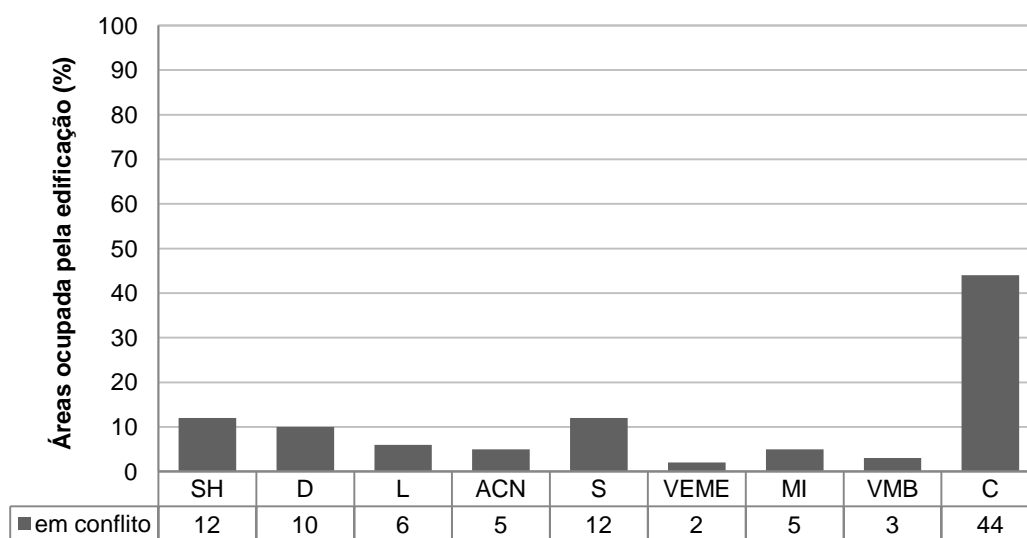
O crescimento urbano desregrado ao longo do tempo conduziu à ocupação de áreas que integram a Estrutura Ecológica, tendo um maior impacte em determinadas componentes. Entre 1963 e 1990 foi intervalo de tempo que gerou um aumento das áreas de conflito entre as áreas urbanas e a Estrutura Ecológica, quase triplicando os valores das áreas correspondentes ao intervalo entre 1942 e 1963. De 1990 a 2007 o crescimento urbano continuou a desrespeitar a Estrutura Ecológica e em algumas componentes duplicou o valor das áreas em conflito relativamente às áreas de 1963. Através desta análise é possível constatar que mesmo com as Restrições de Utilidade Públicas em vigor e a Estrutura Ecológica contemplada na lei desde a década de 70, estas não foram respeitadas e não colocaram limites à expansão urbana.

Nas componentes da Estrutura Ecológica Nível 1 a expansão urbana ocupou uma maior área nos Sistemas Húmidos (59 km<sup>2</sup>), seguidamente nas Áreas de Conservação da Natureza (28 km<sup>2</sup>), o Litoral (26 km<sup>2</sup>), Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico (21 km<sup>2</sup>), a Vegetação Natural e

Semi-Natural com Valor de Conservação de Elevado e Muito Elevado (8 km<sup>2</sup>) e por último as Áreas Declivosas (4 km<sup>2</sup>). Nas componentes da Estrutura Ecológica Nível 2 a componente que foi mais ocupada pela edificação foi as Áreas de Máxima Infiltração (54 km<sup>2</sup>), seguidamente os Cabeços em Sistema Húmido Antigo (36 km<sup>2</sup>) e por ultimo a Vegetação Natural e Semi-Natural com Valor de Conservação Moderado, Baixo e Muito Baixo (2 km<sup>2</sup>).

Contudo ao analisar estes valores tendo em consideração a área total que cada componente ocupa, a ordem obtida anteriormente altera-se de forma significativa. A componente da Estrutura Ecológica Nível 1 mais afectada pelo crescimento urbano continua a ser o Sistema Húmido juntamente com os Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico em que as áreas de conflito correspondem a 12% da área total, segue-se as Áreas Declivosas com 10% da área ocupada pela edificação, o Litoral e as Áreas de Conservação da Natureza têm percentagens semelhantes relativamente à ocupação pela edificação, 6 e 5% respectivamente, A componente menos afectada é a Vegetação Natural e Semi-natural com Valor de Conservação de Elevado e Muito Elevado com apenas 2% de área em conflito. Na Estrutura Ecológica Nível 2 a componente mais afectada é os Cabeços em Sistema Húmido Antigo com 44% da área ocupada pela edificação, seguidamente as Áreas de Máxima infiltração com 5% de área ocupada e por último a Vegetação Natural e Semi-Natural com Valor de Conservação Moderado, Baixo e Muito Baixo com 4%.

A área total Estrutura Ecológica (Nível 1 e Nível 2) ocupada pela edificação é de 171 km<sup>2</sup> e ocupa 13% da área relativamente à área total da Estrutura Ecológica.

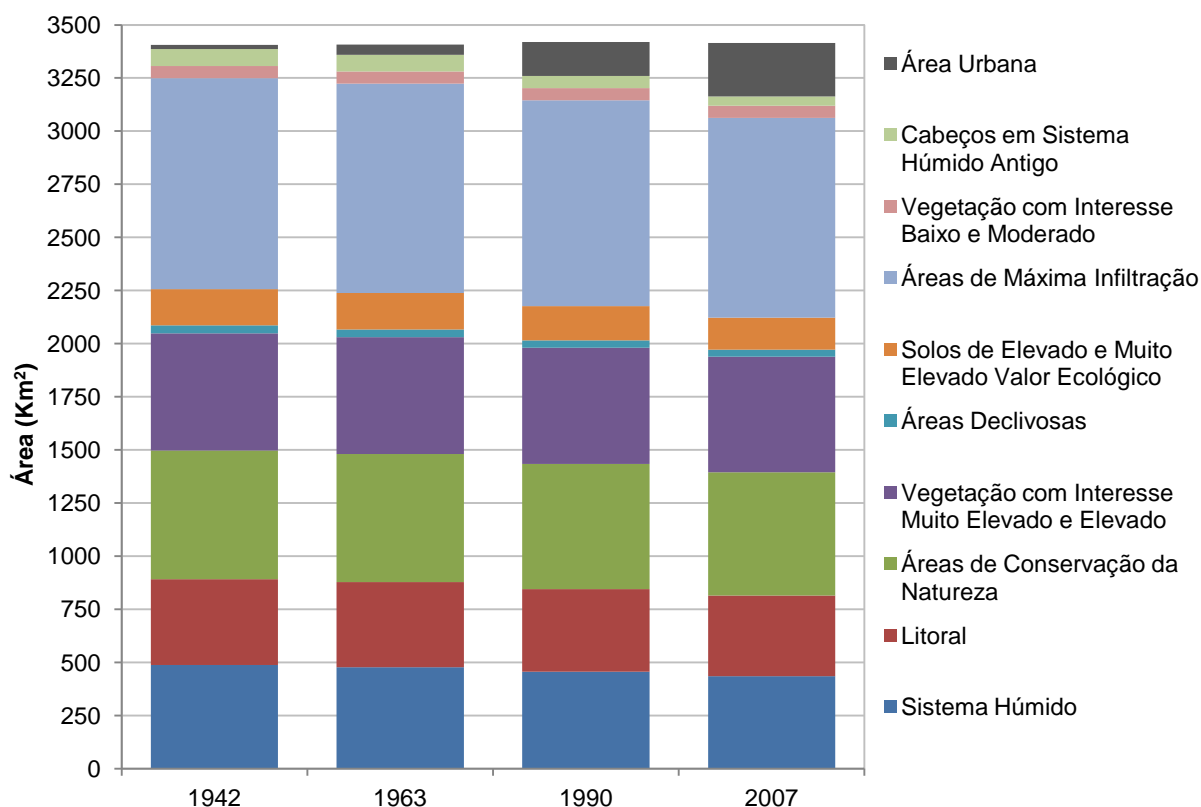


SH – Sistema Húmido; S – Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico; L – Litoral; D – Áreas Declivosas; VEME – Vegetação com Interesse Muito Elevado e Elevado; CN – Áreas de Conservação da Natureza; MI – Áreas de Máxima Infiltração; VMB – Vegetação com Interesse Baixo e Moderado; C – Cabeços em Sistema Húmido Antigo

**Fig. 26– Percentagem da área total de cada componente da EE ocupada por áreas urbanizadas. Fonte: Autor**

**Tabela 7 – Área das componentes da Estrutura Ecológica ocupada por edificação. Fonte: Autor.**

COMPONENTE DA EE		ÁREA OCUPADA PELA EDIFICAÇÃO (km <sup>2</sup> )				ÁREA TOTAL (km <sup>2</sup> )
		1942	1963	1990	2007	
EE NÍVEL 1	SISTEMA HÚMIDO	6	17	38	59	494
	LITORAL	2	5	17	26	406
	CONSERVAÇÃO DA NATUREZA	2	5	18	28	607
	VEGETAÇÃO COM INTERESSE (MUITO ELEVADO E ELEVADO)	1	2	5	8	552
	ÁREAS DECLIVOSAS	0	1	3	4	38
	SOLOS DE ELEVADO E MUITO ELEVADO VALOR ECOLÓGICO	1	1	12	21	172
EE NÍVEL 2	ÁREAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO	2	9	24	54	994
	VEGETAÇÃO COM INTERESSE (MODERADO, BAIXO E MUITO BAIXO)	0	0	1	2	58
	CABEÇOS EM SISTEMA HUMIDO ANTIGO	1	3	24	36	81



**Fig. 27 – Evolução da área das componentes da EE e das Áreas Urbanas. Fonte: Autor.**



#### 4.5| METODOLOGIA UTILIZADA NA APLICAÇÃO DO SLEUTH

A metodologia utilizada para aplicar o modelo *SLEUTH* na Península de Setúbal consiste em seis etapas: (1) A instalação do modelo e realizar o teste através do demo que se encontra disponibilizado na pagina do projecto *Giglopolis* de forma a garantir que esta operacional, (2) elaboração dos ficheiros de *input* necessários para correr o modelo, (3) calibração do modelo de modo a obter os valores dos coeficientes, (4) validação do modelo que consiste em comparar uma previsão do crescimento urbano de 2014 e comparar com o que existe actualmente e (5) Previsão do crescimento urbano com base nos diferentes cenários produzidos para 2030.

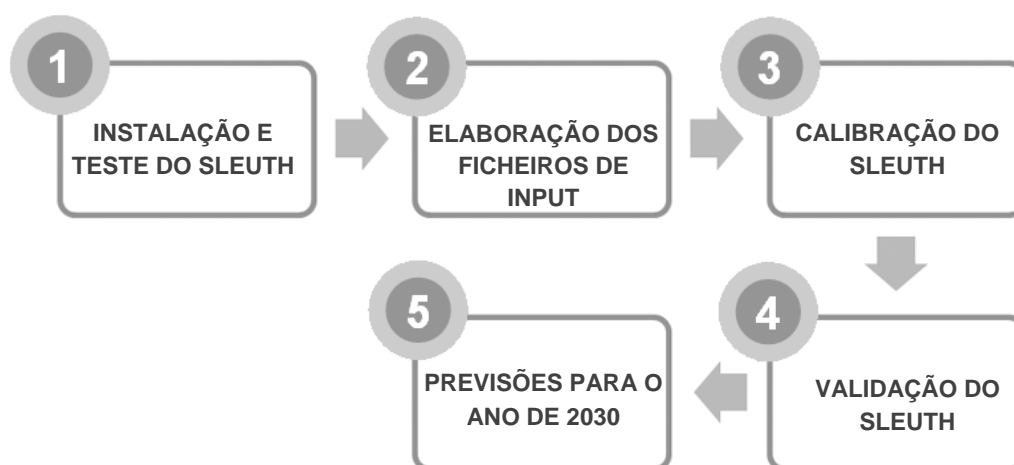


Fig. 28 – Metodologia adoptada para a aplicação do *SLEUTH*. Fonte: Autor.

#### 4.6| RESULTADOS

##### 4.6.1| ELABORAÇÃO DOS INPUTS

Como já foi referido anteriormente, o modelo requer *inputs* formatados de forma bastante criteriosa, permitindo pouca flexibilidade. Todos os *inputs* devem estar em formato GIF em escala de cinzentos, devem cobrir exatamente a mesma área geográfica e ter as mesmas coordenadas (o mesmo *datum* e a mesma projecção). A resolução das imagens têm de ser coerentes e a ainda as rígidas convenções de nomenclatura têm de ser seguidas.

Uma vez que para as três fases de calibração é necessário ter três resoluções diferentes foi então necessário preparar para cada categoria de *inputs* essas três escalas diferentes, uma com resolução de 50 metros, com a dimensão do ficheiro *raster* de 1000x1280 (numero de linhas por numero de colunas), uma com 100 metros, com a dimensão de 500x640 e uma com 200 metros e com a dimensão de 250x320.

Para a preparação dos ficheiros de *input* foram utilizados os softwares ESRI ArcGis 10.0 e Adobe Photoshop CS5.

## DECLIVES

O ficheiro com os declives do terreno foi obtido através do MDT criado a partir de imagens do satélite ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*), com resolução de 30 metros. Os declives foram então calculados em percentagem e foram reclassificados de acordo com as seguintes classes: 0 – 5%; 5 – 8%; 8 – 12%; 12 – 16%; 16 – 25%; > 25%. Quanto mais baixos são os declives maior é a probabilidade de serem urbanizados.

## USO DO SOLO

O modelo SLEUTH requer que haja pelo menos um ficheiro de uso do solo. Contudo, como neste estudo esse ficheiro não é necessário foi elaborada uma imagem em que todos os *pixels* tinham valor 0, uma vez que esse valor para o modelo é equivalente a “não existente” ou “nulo”.

## ÁREAS DE EXCLUSÃO

As Áreas de Exclusão são os ficheiros de *input* que permitem a elaboração de diferentes cenários de previsão do crescimento urbano. Desta forma foram elaborados três ficheiros de Áreas de Exclusão de forma a obter três cenários distintos:

- 1) Manutenção da Tendências Actuais (MTA): Este cenário tem como objectivo representar o crescimento urbano caso as tendências actuais permanecessem. Os valores atribuídos foram determinados em função da análise da percentagem de conflito entre cada componente da Estrutura Ecológica e as Áreas Urbanas.

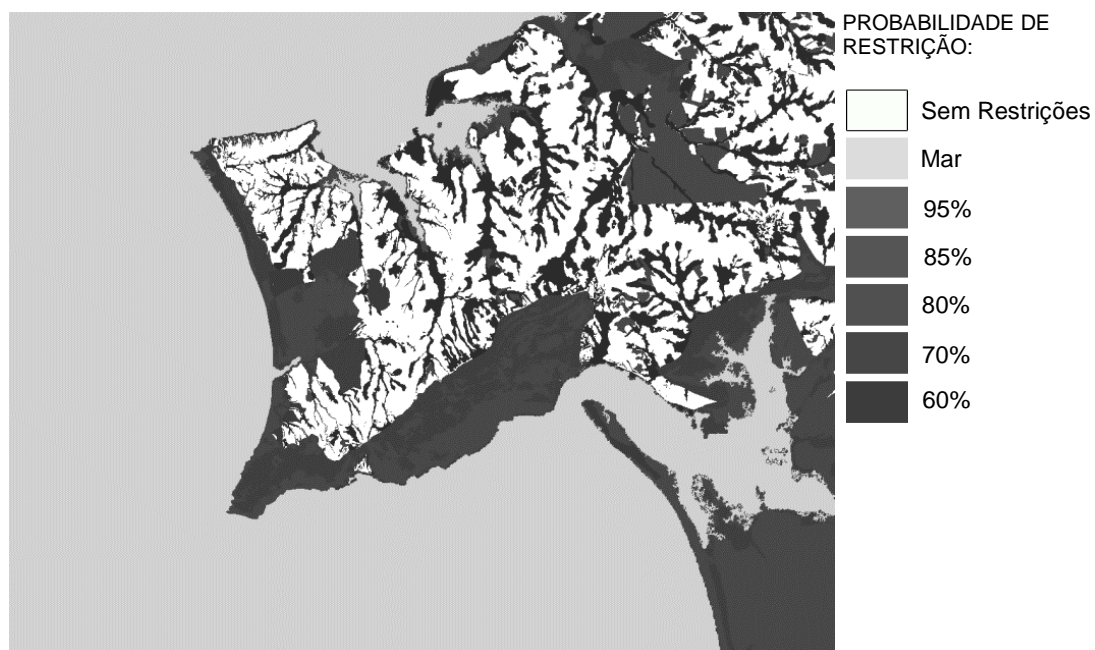
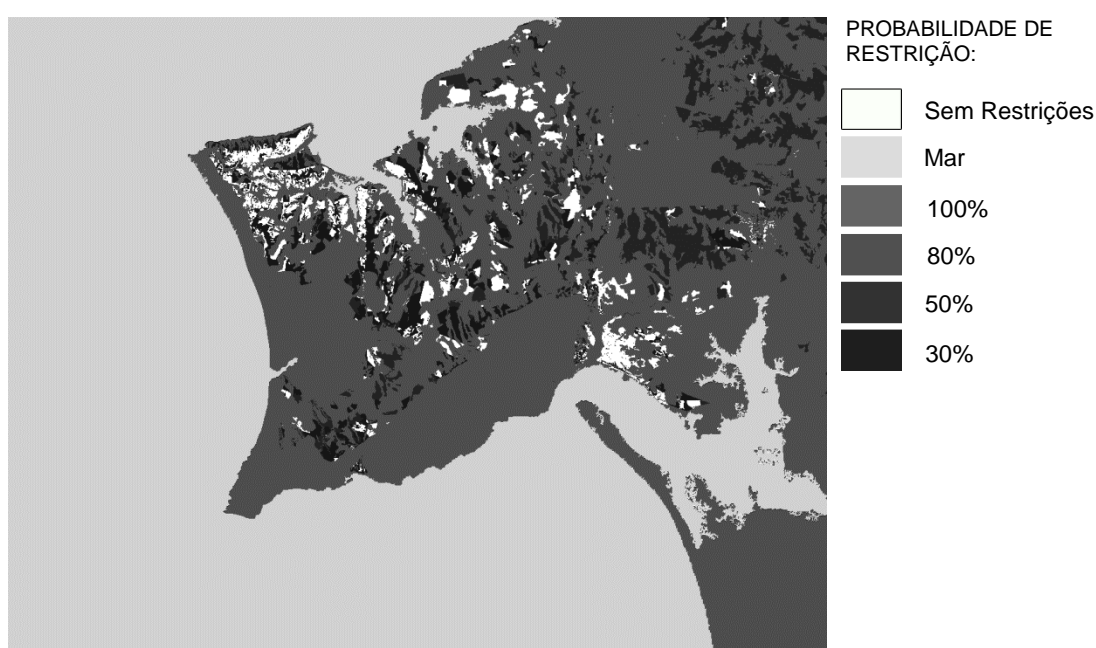


Fig. 29 – Áreas de Exclusão para o cenário da Manutenção das Tendências Actuais. Fonte: Autor.

- 2) Protecção Ecológica Moderada (PEM): Este cenário tem como objectivo a protecção dos recursos naturais e ainda controlar o crescimento urbano, que é conseguido através da correcta implementação da Estrutura Ecológica e pelas Áreas de Aptidão Ecológica à Edificação. A Estrutura Ecológica Nível 1 apresenta valores de exclusão de 100% uma vez que é constituída pelas componentes com maior valor ecológico e que devem permanecer *non aedificandi*. A Estrutura Ecológica Nível 2 apresenta valores mais baixos, pois as componentes que a integram têm um valor ecológico mais baixo e no que diz respeito às ocupações potenciais esta permite a existência de edificado desde que não ponham em causa a infiltração da água e que ocupem apenas as áreas com menor valor ecológico. Às Áreas com Aptidão Ecológica à Edificação, que restringem o crescimento urbano, foi atribuído o valor de 30% de exclusão.



**Fig. 30– Áreas de Exclusão para o cenário da Protecção Ecológica Moderada. Fonte: Autor.**

- 3) Protecção Ecológica Extrema (PEE): O terceiro cenário reflecte uma maior restrição do crescimento das áreas urbanas e uma maior protecção dos recursos naturais. Os elementos utilizados neste cenário são os mesmo que no cenário anterior com a diferença de que neste caso os valores de exclusão são substancialmente mais elevados. A Estrutura Ecológica Nível 1 permanece com 100% de exclusão, a Estrutura Ecológica Nível 2 passa de 30% de exclusão para 100% e as Áreas com Aptidão Ecológica para a Edificação passam a ter um valor de exclusão de 80%.



**Fig. 31 – Áreas de Exclusão para o cenário da Protecção Ecológica Moderada. Fonte: Autor.**

**Tabela 8 – Valores atribuídos às restrições dos cenários MTA, PEM e PEE.**

COMPONENTES DA ESTRUTURA ECOLÓGICA	MANUTENÇÃO DAS TENDÊNCIAS ACTUAIS	PROTECÇÃO ECOLÓGICA MODERADA	PROTECÇÃO ECOLÓGICA EXTREMA
SISTEMA HÚMIDO	60	100	100
ÁREAS DECLIVOSAS	70	100	100
SOLOS DE ELEVADO E MUITO ELEVADO VALOR ECOLOGICO	60	100	100
LITORAL	80	100	100
VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO DE ELEVADO E MUITO ELEVADO	95	100	100
ÁREAS DECONSERVAÇÃO DA NATUREZA	85	100	100
VEGETAÇÃO NATURAL E SEMI-NATURAL COM VALOR DE CONSERVAÇÃO DE MODERADO E BAIXO	0	Baixo: 30 Moderado: 100	100
CABEÇOS EM SISTEMA HUMIDO ANTIGO	0	30	100
ÁREAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO	0	Tipo I: 80 Tipo II: 50	100
ÁREAS COM APTIDAO ECOLOGICA PARA EDIFICAÇÃO	0	30	80

## ÁREAS URBANAS

Foram feitos quatro ficheiros de áreas urbanas que correspondem aos anos 1942, 1963, 1990 e 2007.

O ficheiro das áreas urbanas de 1940 foi feito através de um conjunto de 14 cartas militares digitalizadas, nomeadamente as cartas número 431, 432, 433, 441-b, 442, 443, 444, 453, 454, 455, 464, 465, 466 e 475. Todas as cartas militares foram georreferenciadas, interpretadas e posteriormente foram criadas as áreas urbanas através das ferramentas de edição.

O ficheiro das áreas urbanas do ano 1963 foi feito através das Cartas Agrícolas e Florestais, que têm como base Cartas Militares. Uma vez que estas cartas têm como base as Cartas Militares, foram utilizadas as mesmas 14 cartas que nas áreas urbanas de 1940. Todas as cartas foram georreferenciadas, interpretadas e criou-se as áreas urbanas correspondentes às áreas sociais das Cartas Agrícolas e Florestais através das ferramentas de edição.

As áreas urbanas de 1990 tiveram como base na Carta de Ocupação do Solo de 1990. Fez-se a selecção das Áreas Artificiais que são constituídas por Espaço Urbano, Infraestruturas e Equipamentos, Improdutivos e Espaços Verdes Artificiais. Desta categoria apenas foram excluídas as Vias de Comunicação que integram as Infraestruturas e Equipamentos.

De forma a obter as áreas urbanas de 2007 recorreu-se ao nível 2 do COS' 07. Foram seleccionados o Tecido Urbano, Indústria Comercio e Transportes, Áreas de Extração de Inertes, Áreas de Deposição de Resíduos e Estaleiros de Construção e Espaços Verdes Urbanos, Equipamentos Desportivos, Culturais e de Lazer, e Zonas Históricas. Foi necessário editar a categoria de Indústria, Comercio e Transportes de forma a remover a rede viária.

Após a elaboração de todas as imagens das áreas urbanas foi necessário reclassificar os valores dos *pixels* em que as áreas urbanas correspondem a 255 e todos os pixels restantes correspondem a 0.

## REDE VIÁRIA

Foram produzidos dois ficheiros com a Rede Viária correspondentes aos anos 1963 e 2007. Para a elaboração destes ficheiros foi utilizado a *shapefile Roads* disponibilizada pelo *Open Street Map*.

Para a Rede Viária de 1963 foi sobreposto o *Open Street Map* às Cartas Agrícolas e Florestais e foram removidas, através das ferramentas de edição do ArcGIS, as estradas que não estão presentes nas cartas.

A elaboração do ficheiro da Rede Viária de 2007 foi feito de forma semelhante mas desta vez sobrepôs-se o *Open Street Map* a um ortofotomapa de 2007, removendo as estradas que não se encontravam presentes nesse ano.

## RELEVO SOMBREADO

Os dois ficheiros de relevo sombreado foram obtidos também através do MDT criado a partir de imagens do satélite ASTER, com resolução de 30 metros. Este ficheiro apesar de não ter influência na criação de cenários de previsão do crescimento urbano tem uma grande importância na área de estudo em questão, uma vez que se trata de uma zona costeira.

### 4.6.2| VALIDAÇÃO DO MODELO

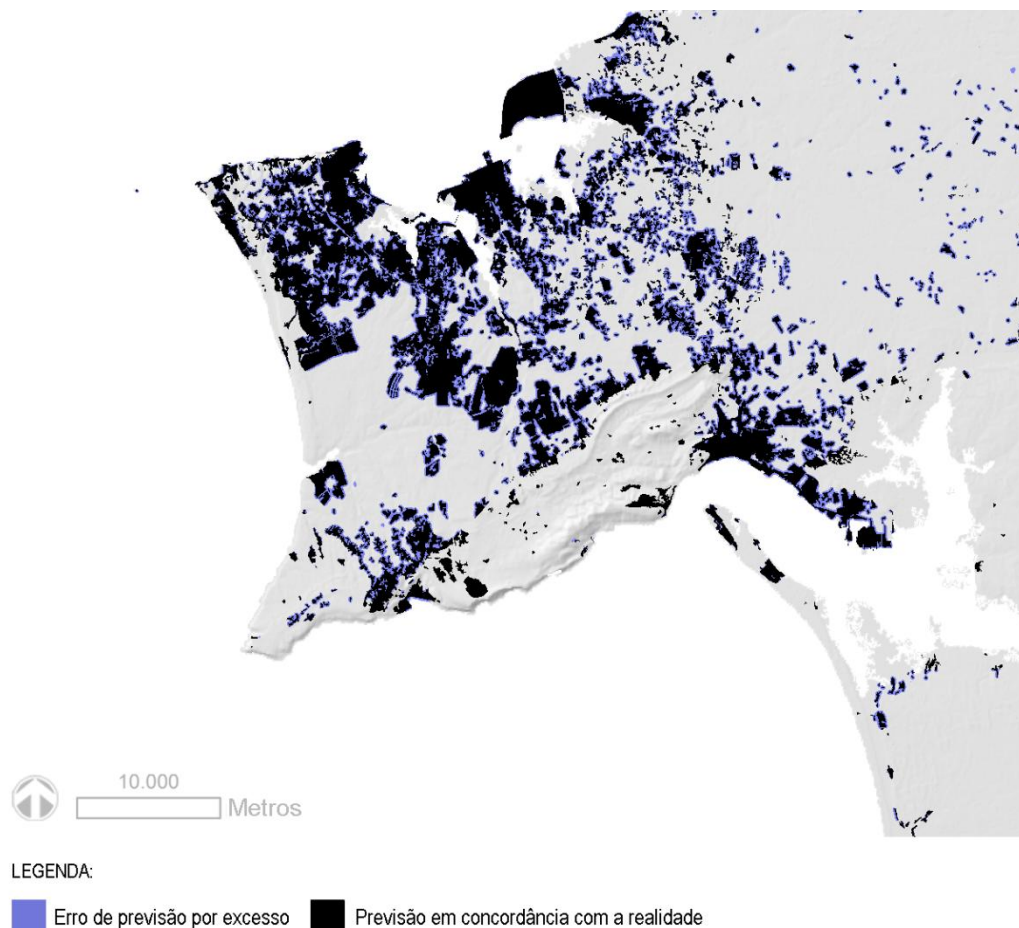
De forma a avaliar o rigor do *SLEUTH* na previsão do crescimento urbano foi elaborada uma análise no ArcGIS utilizando a ferramenta *raster calculator* à semelhança da metodologia utilizada por George R. James na sua tese de mestrado (James 2005).

Para fazer esta análise são necessários dois ficheiros de áreas urbanas de 2014, (1) um que resulta da previsão do crescimento urbano obtido através do *SLEUTH* e (2) outro ficheiro com as áreas urbanas de 2014 que existem na realidade.

Seguidamente as áreas urbanas de 2014 (1) foram reclassificadas de forma a que o valor 1 correspondesse a áreas não urbanas e o valor 0 correspondesse a áreas urbanas. As áreas urbanas previstas para 2014 (2) foram reclassificadas de maneira a que o valor 10 correspondesse a áreas urbanas e o valor 20 às áreas não urbanas. Posteriormente fez-se a soma destes dois ficheiros através da ferramenta *raster calculator* com o objectivo de obter quatro categorias: Áreas Urbanas (1)/Áreas Urbanas (2)= 10; Áreas Não Urbanas (1)/ Áreas Urbanas (2) = 11; Áreas Urbanas (1)/ Áreas Não Urbanas (2) = 20 e Áreas Não Urbanas (1)/Áreas Não Urbanas (2) = 20. Os valores de 10 e 21 correspondem então às áreas que foram previstas correctamente e os valores 11 e 20 correspondem às áreas que foram previstas incorrectamente.

O resultado da análise mostrou que existem incorrecções na previsão do modelo nomeadamente o facto de ter previsto áreas urbanas em excesso, ou seja, a expansão urbana em áreas que não aconteceram na realidade. Contudo não se verificaram erros de omissão, não houve nenhuma área urbana que se tenha expandido que não tenha sido prevista.

A conclusão que se pode inferir é que o modelo está a prever correctamente a tendência do crescimento urbano contudo com a crise que o País enfrenta e com as consequências lógicas que isso implica na área da construção faz com que esse crescimento previsto se atrase alguns anos, ou seja, as áreas urbanas que o modelo previu para 2014 na realidade vão corresponder provavelmente às áreas urbanas uns anos mais a frente.



**Fig. 32 – Validação do SLEUTH. Fonte: Autor.**

#### 4.6.3| CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo foi feita de acordo com as três etapas, *Coarse*, *Fine* e *Final*, do método de calibração de *brute force* descrito no Capítulo 3 e teve como base as áreas urbanas de 1940, 1962, 1990 e 2007. O ficheiro *controlstats.log* resultante de cada etapa da calibração foi ordenado de acordo com a métrica de *Lee Salee* e os três valores mais elevados foram utilizados para definir os valores dos coeficientes para a etapa seguinte. A resolução das imagens dos ficheiros de *input* foram duplicando a cada etapa de calibração, na primeira etapa a resolução era de 200 m, na segunda de 100 m e na última de 50 metros. O número de iterações de *Monte Carlo* foram aumentando, começando com 4 na etapa *Coarse*, aumentaram para 8 e posteriormente para 10 durante a etapa *Fine* e *Final*, respectivamente.

**Tabela 9 – Valores utilizados para iniciar cada etapa da fase de calibração do *SLEUTH*.**

ETAPA		COEFICIENTES DE CRESCIMENTO				
		<i>DISPERSION</i>	<i>BREED</i>	<i>SPREAD</i>	<i>SLOPE</i>	<i>ROAD GRAVITY</i>
<i>COARSE</i>	<i>START</i>	0	0	0	0	0
	<i>STOP</i>	100	100	100	100	100
	<i>STEP</i>	25	25	25	25	25
<i>FINE</i>	<i>START</i>	0	0	15	0	0
	<i>STOP</i>	24	24	35	50	50
	<i>STEP</i>	6	6	5	10	10
<i>FINAL</i>	<i>START</i>	0	0	25	10	0
	<i>STOP</i>	5	5	35	40	40
	<i>STEP</i>	1	1	2	6	8
<i>FORECAST</i>	<i>START</i>	0	1	33	10	16
	<i>STOP</i>	0	1	33	10	16
	<i>STEP</i>	1	1	1	1	1
<i>BEST FIT</i>		0	2	62	1	22

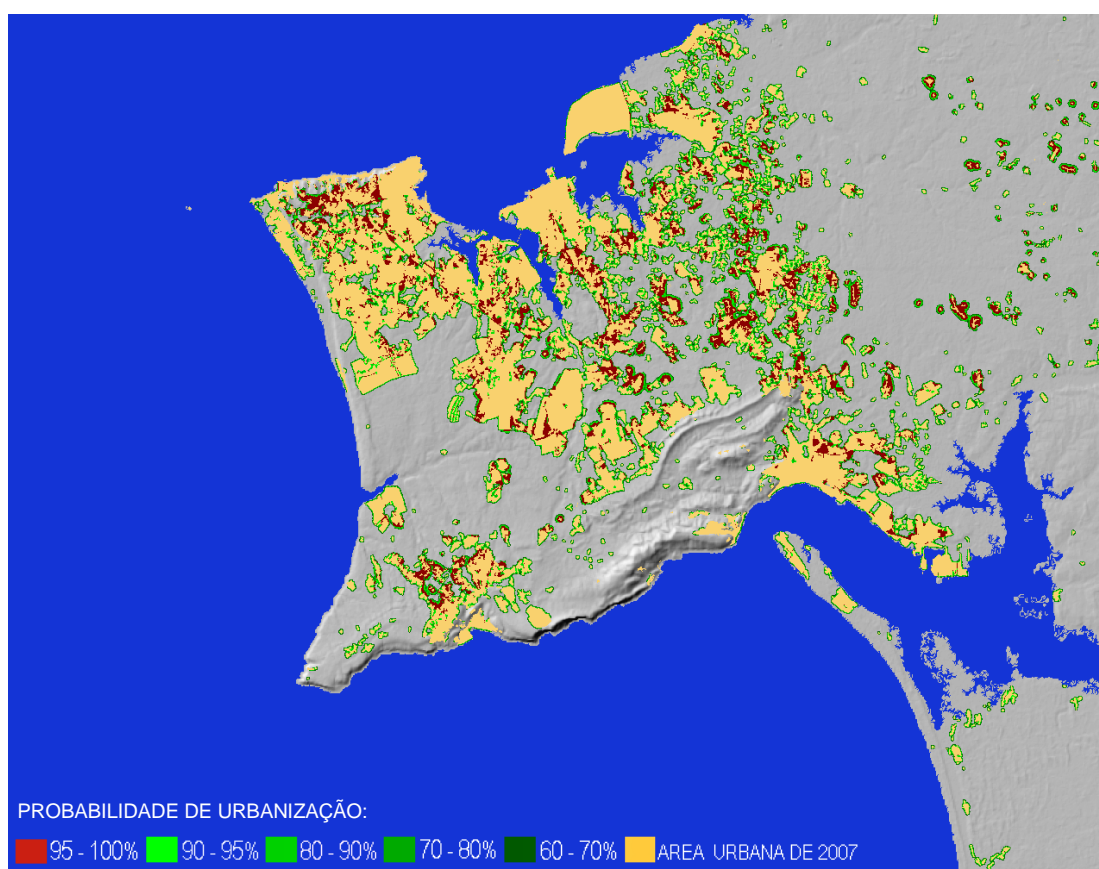
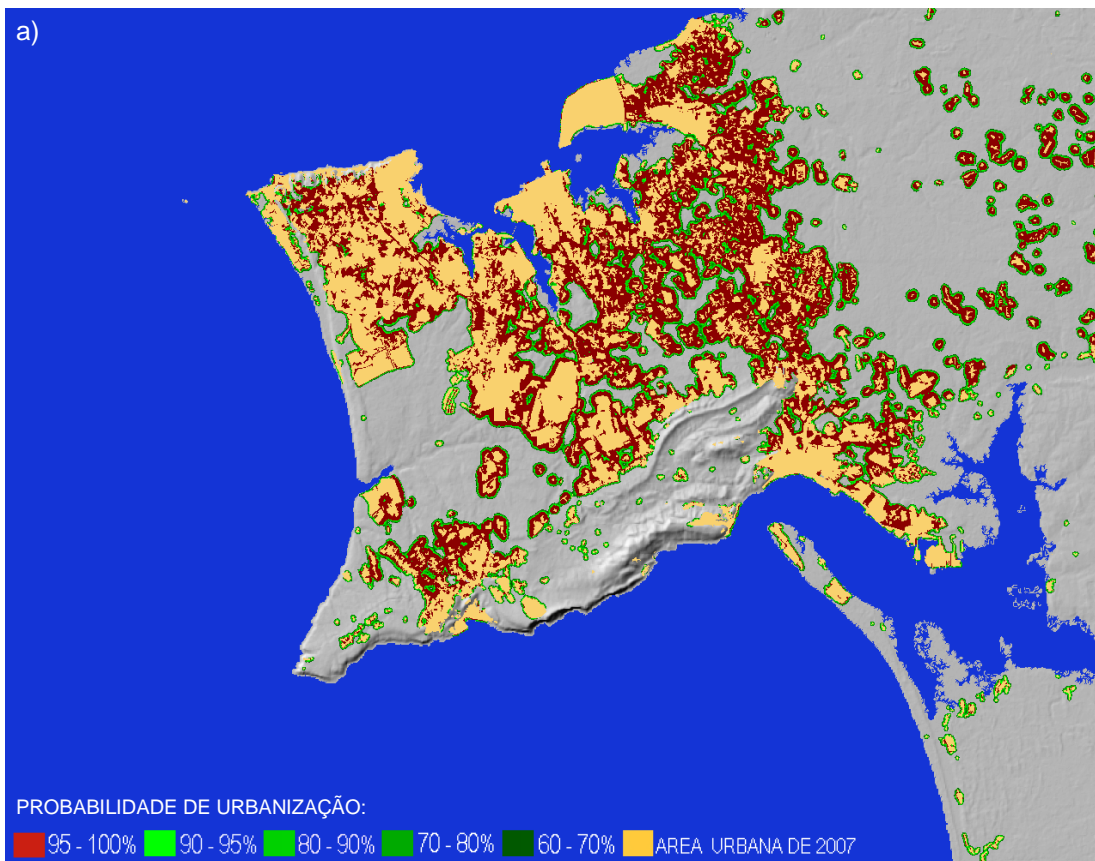
Através dos resultados obtidos das fases de calibração é possível verificar que o crescimento urbano tem tendência a expandir-se na periferia das áreas urbanas existentes (Coeficiente *Spread*) bem como junto à rede viária (Coeficiente *Road Gravity*), uma vez que são os coeficientes com valores mais elevados e se destacam de forma significativa dos restantes. Todos os outros coeficientes apresentam valores próximos de zero e desta forma praticamente não têm influência no crescimento urbano, isto significa que a probabilidade de surgirem novos centros urbanos é quase nula.

#### 4.6.4| PREVISÃO

A previsão constitui a etapa final do processo da utilização do modelo *SLEUTH*, em que os valores resultantes da última fase de calibração são introduzidos para que se possam gerar os cenários de crescimento urbano de acordo com as diferentes áreas de exclusão elaboradas.

As imagens resultantes expressam a probabilidade que um *pixel* tem de passar de não-urbano a urbano. A probabilidade de urbanização entre 50% e 95% apresentam um gradiente crescente de verde-escuro para verde-claro e de 95% a 100% corresponde ao vermelho. A probabilidade abaixo de 50% é desprezada.





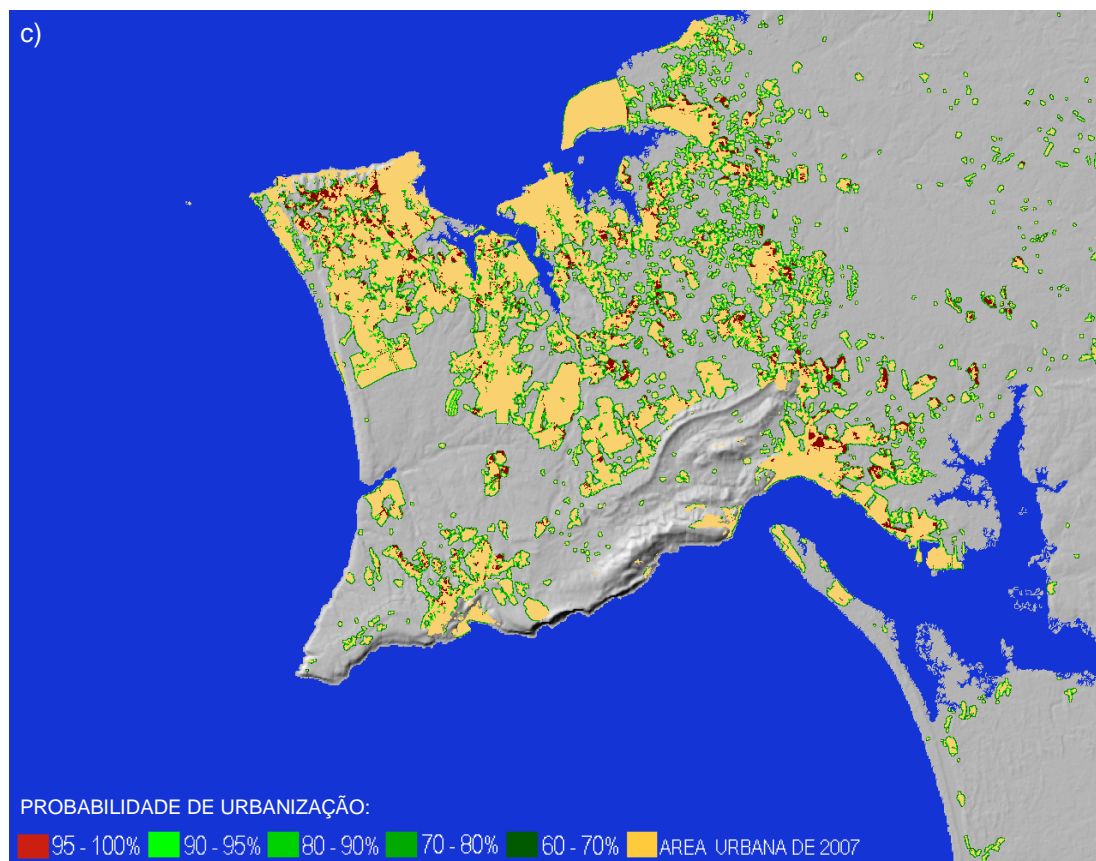


Fig. 33 – Simulação do crescimento urbano para 2030 de acordo com a) MTA; b)PEM e c)PEE.

#### 4.7| ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PREVISÃO

A análise dos resultados vai ser realizada com base de acordo com duas perspectivas distintas, isto é, pretende-se analisar o impacto do crescimento urbano nos recursos naturais bem como a influência que a Estrutura Ecológica tem no padrão de crescimento urbano.

Os impactos nos recursos naturais vão ser analisados com recurso aos conflitos entre a área urbana e cada uma das componentes da Estrutura Ecológica.

A análise da influência da Estrutura Ecológica no padrão de crescimento urbano vai ser feita com apoio nas métricas resultantes do ficheiro *avg\_log* do modelo *SLEUTH* e ainda num conjunto de métricas provenientes da utilização do *software Fragstats 4.2*, à semelhança da metodologia utilizada tese de mestrado “Influência da Reserva Ecológica Nacional no processo de urbanização” da Autoria de João Rodrigues e no artigo *Spatio-temporal dynamics in California's Central Valley: Empirical links to urban theory* de Charles Dietzel, Martin Herold, Jeffrey J. Hemphill e Keith C. Clarke.

As métricas selecionadas para a análise encontram-se nas tabelas seguintes.

**Tabela 10 – Métricas selecionadas do ficheiro *avg\_log* do modelo *SLEUTH*.**

MÉTRICAS	DESCRIÇÃO
<i>sng</i>	Número de novos <i>pixels</i> urbanos gerados pelo crescimento espontâneo
<i>sdg</i>	Número de novos <i>pixels</i> urbanos gerados pelo crescimento a partir de centros urbanos existentes
<i>og</i>	Número de novos <i>pixels</i> urbanos gerados pelo crescimento a partir da periferia
<i>rt</i>	Número de novos <i>pixels</i> urbanos gerados pelo crescimento influenciado pela rede viária
<i>area</i>	Número total de <i>pixels</i> urbanos
<i>grwrate</i>	Percentagem de novos <i>pixels</i> urbanos gerados num ano a dividir pelo número total de <i>pixels</i> urbanos
<i>grw_pix</i>	Número total dos novos <i>pixels</i> urbanos

**Tabela 11 – Métricas selecionadas a serem utilizadas no *Fragstats*. Fonte: (McGarigal 2014; Rodrigues 2013).**

DESIGNAÇÃO	ACRÓNIMO	DESCRIÇÃO
<i>CLASS AREA</i>	CA	Soma das áreas (m <sup>2</sup> ) dos fragmentos de uma determinada classe, dividido por 10000 (para converter em hectares).
<i>PERCENTAGE OF LANDSCAPE</i>	PLAND	Percentagem da área de estudo ocupada por cada classe de fragmento.
<i>LARGEST PATCH INDEX</i>	LPI	Percentagem relativamente à área total que o maior fragmento ocupa.
<i>TOTAL EDGE</i>	TE	Somatório do comprimento (m) da orla de todos os fragmentos de uma determinada classe.
<i>NUMBER OF PATCHES</i>	NP	Número de fragmentos de uma determinada classe. Neste estudo aplica-se as áreas urbanas. Esta métrica permite avaliar a fragmentação/continuidade das áreas urbanas.
<i>PATCHE DENSITY</i>	PD	Número total de fragmentos de uma classe a dividir pela área total em estudo. Permite avaliar a permeabilidade/compacidade da área urbana.
<i>MEAN PATCH AREA</i>	AREA_MN	Média (ha) dos fragmentos de uma determinada classe
<i>EUCLIDEAN NEAREST NEIGHBOR DISTANCE</i>	ENN	Expressa a menor distância euclidiana entre fragmentos da mesma classe. São utilizadas as classes <i>Mean</i> (ENN_MN) que corresponde à média da amostra e <i>Standard Deviation</i> (ENN_SD) que corresponde à variação absoluta. É utilizada para quantificar a dispersão dos fragmentos.

<i>RADIUS OF GYRATION DISTRIBUTION</i>	GYRATE_MN	Distância (m) média entre cada célula de um fragmento e o centroide do fragmento. É utilizada para medir a extensão dos fragmentos
<i>PATCH COHESION INDEX</i>	COHESION	Expressa a conectividade dos fragmentos. Este índice aumenta com o aumento da agregação dos fragmentos
<i>PROXIMITY INDEX</i>	PROX	Medida adimensional que caracteriza o isolamento dos fragmentos, integrando informação relativa à dimensão e distância dos fragmentos a partir de um ponto de referência dentro de um raio de pesquisa.

#### 4.7.1| ANÁLISE DO IMPACTO DO CRESCIMENTO URBANO NA PERDA DE RECURSOS NATURAIS

O impacto do crescimento urbano na perda de recursos naturais em cada cenário mostra que o cenário MTA leva a um consumo substancial do solo em toda a área de estudo, com uma perda simultânea de recursos através da ocupação da área das componentes da Estrutura Ecológica com edificação.

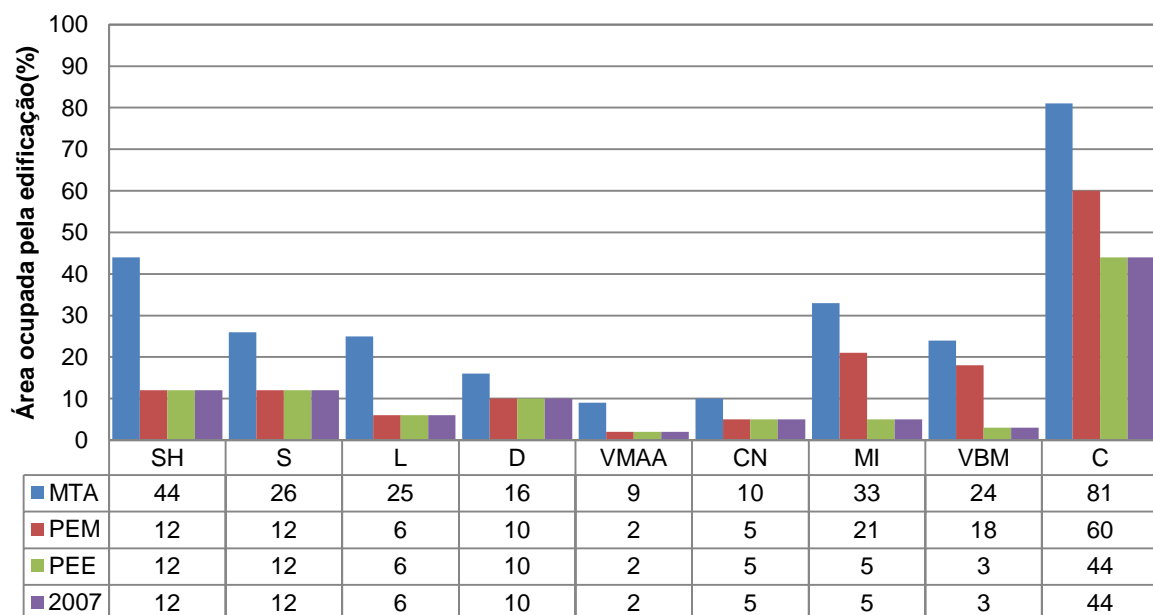
O Sistema húmido e as Áreas de Máxima Infiltração são as componentes que perdem mais área com o crescimento urbano. No cenário MTA o Sistema Húmido perde uma área de 220 km<sup>2</sup> e as Áreas de Máxima infiltração perdem 331 km<sup>2</sup>.

Apesar destas duas componentes perderem uma maior área, quando se analisa em função da área relativa observa-se que a edificação não ocupa nem metade das suas áreas iniciais, principalmente nas Áreas de Máxima Infiltração que ocupa 33% da sua área total.

Já nos Cabeços em Sistema Húmido Antigo sucede-se precisamente o contrário, esta componente perde uma área relativamente baixa, da mesma ordem das Áreas Declivosas e dos Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico, mas quando se analisa a área relativa revela-se uma situação problemática, pois 81% da sua área total é perdida com o crescimento urbano.

A Vegetação com Interesse para Conservação Elevado e Muito Elevado e a Vegetação com Interesse para Conservação Baixo e Modera são as componentes que perdem menos área com o crescimento urbano, com 9% e 24% de área ocupada por edificação, respectivamente.

Nos cenários PEM e PEE quando comparados com 2007 é possível verificar que de facto as componentes da Estrutura Ecológica estão a ser efectivamente protegidas, no cenário PEE, e que reflectem os valores de restrição à urbanização introduzidos nesses cenários. No cenário PEM apenas existem algumas variações nas componentes da Estrutura Ecológica Nível 2, revelando as mesmas tendências que no cenário MTA mas com valores substancialmente mais baixos.

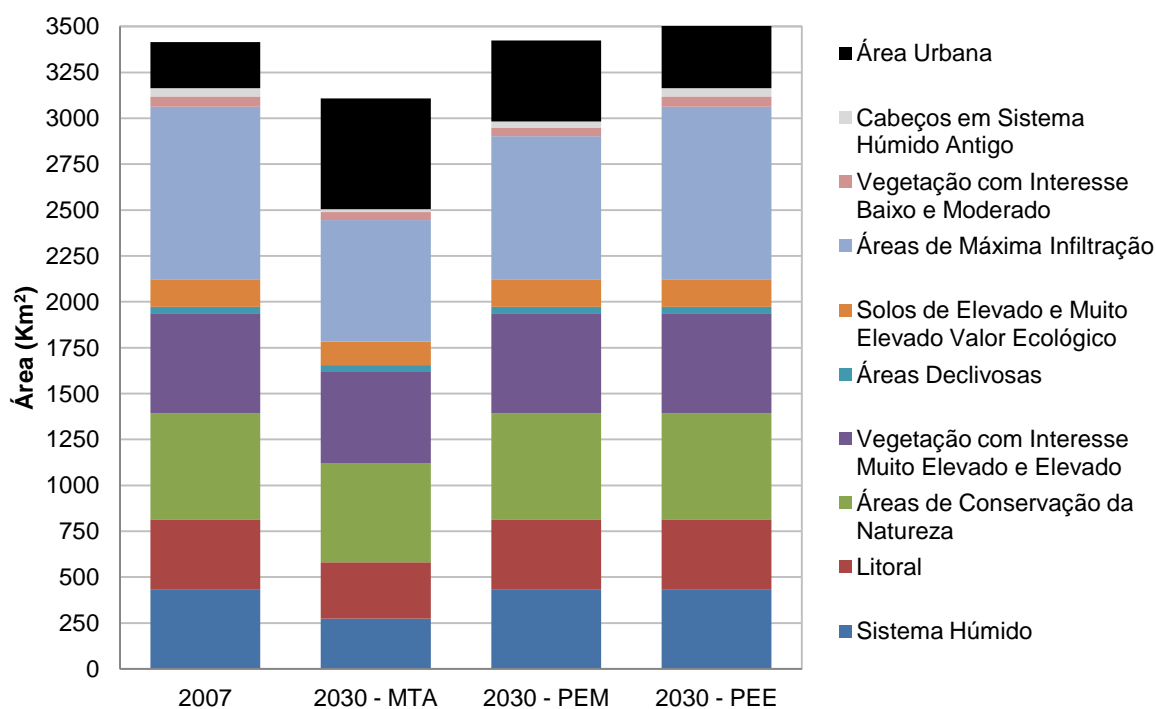


SH – Sistema Húmido; S – Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico; L – Litoral; D – Áreas Declivosas; VME – Vegetação com Interesse Muito Elevado e Elevado; CN – Áreas de Conservação da Natureza; MI – Áreas de Máxima Infiltração; VMB – Vegetação com Interesse Baixo e Moderado; C – Cabeços em Sistema Húmido Antigo

**Fig. 34 – Percentagem da área de cada componente da Estrutura Ecológica ocupada por edificação dos cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: Autor.**

**Tabela 12 – Área de cada componente da Estrutura Ecológica ocupada por edificação de acordo com os cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: Autor.**

COMPONENTE DA EE		ÁREA OCUPADA PELA EDIFICAÇÃO (km <sup>2</sup> )				ÁREA TOTAL DA COMPONENTE (km <sup>2</sup> )
		2007	2030 MTA	2030 PEM	2030 PEE	
EE NÍVEL 1	SISTEMA HÚMIDO	59	220	59	59	494
	LITORAL	26	100	26	26	406
	CONSERVAÇÃO DA NATUREZA	28	65	28	28	607
	VEGETAÇÃO COM INTERESSE (MUITO ELEVADO E ELEVADO)	8	51	8	8	552
	ÁREAS DECLIVOSAS	4	6	4	4	38
	SOLOS DE ELEVADO E MUITO ELEVADO VALOR ECOLÓGICO	21	44	21	21	172
EE NÍVEL 2	ÁREAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO	54	331	214	54	994
	VEGETAÇÃO COM INTERESSE (MODERADO, BAIXO E MUITO BAIXO)	2	14	11	2	58
	CABEÇOS EM SISTEMA HUMIDO ANTIGO	36	66	48	36	81



**Fig. 35 – Evolução da distribuição das componentes da EE e Áreas Urbanas de acordo com os cenários MTA, PEM e PEE. Fonte: Autor.**

#### 4.7.2| INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA ECOLÓGICA NO PADRÃO DE CRESCIMENTO URBANO

Os resultados das previsões revelam que em todos os cenários o crescimento urbano ocorre sobretudo na periferia dos centros urbanos existentes. O cenário MTA é o que gera mais novas células urbanizadas em toda a área de estudo destacando-se significativamente dos restantes cenários cujo crescimento é mais contido, principalmente no cenário PEE, e é feito maioritariamente junto dos principais centros urbanos.

**Tabela 13 – Métricas resultantes do ficheiro *avg\_log*.**

MÉTRICA (PIXELS)	MTA	PEM	PEE
CRESCIMENTO ESPONTANEO	3,57	2,25	1,67
CRESCIMENTO DIFUSO	0,16	0,06	0
CRESCIMENTO ORGÂNICO	138872,9	73746,71	62848,54
CRESCIMENTO INFLENCIADO PELA REDE VIARIA	4,88	3,74	3,70
NOVAS CELULAS URBANIZADAS	4501,33	2959,87	2681,76
TAXA DE CRESCIMENTO	1,8	1,67	1,62
ÁREA TOTAL	241365,53	176236,76	165337,91

O cenário MTA é o que apresenta uma maior área urbana com cerca de 603 km<sup>2</sup>. Em 2007 as áreas urbanas ocupavam de 18% da área de estudo e de acordo com este cenário passam a ocupar 45%. Apresenta um número de fragmentos urbanos mais baixo e com a área média de cada fragmento mais elevada relativamente aos restantes cenários. É o cenário onde os fragmentos se encontram mais distantes uns dos outros e possuem uma maior extensão. Verifica-se também a existência de uma maior coesão e agregação do espaço urbano.

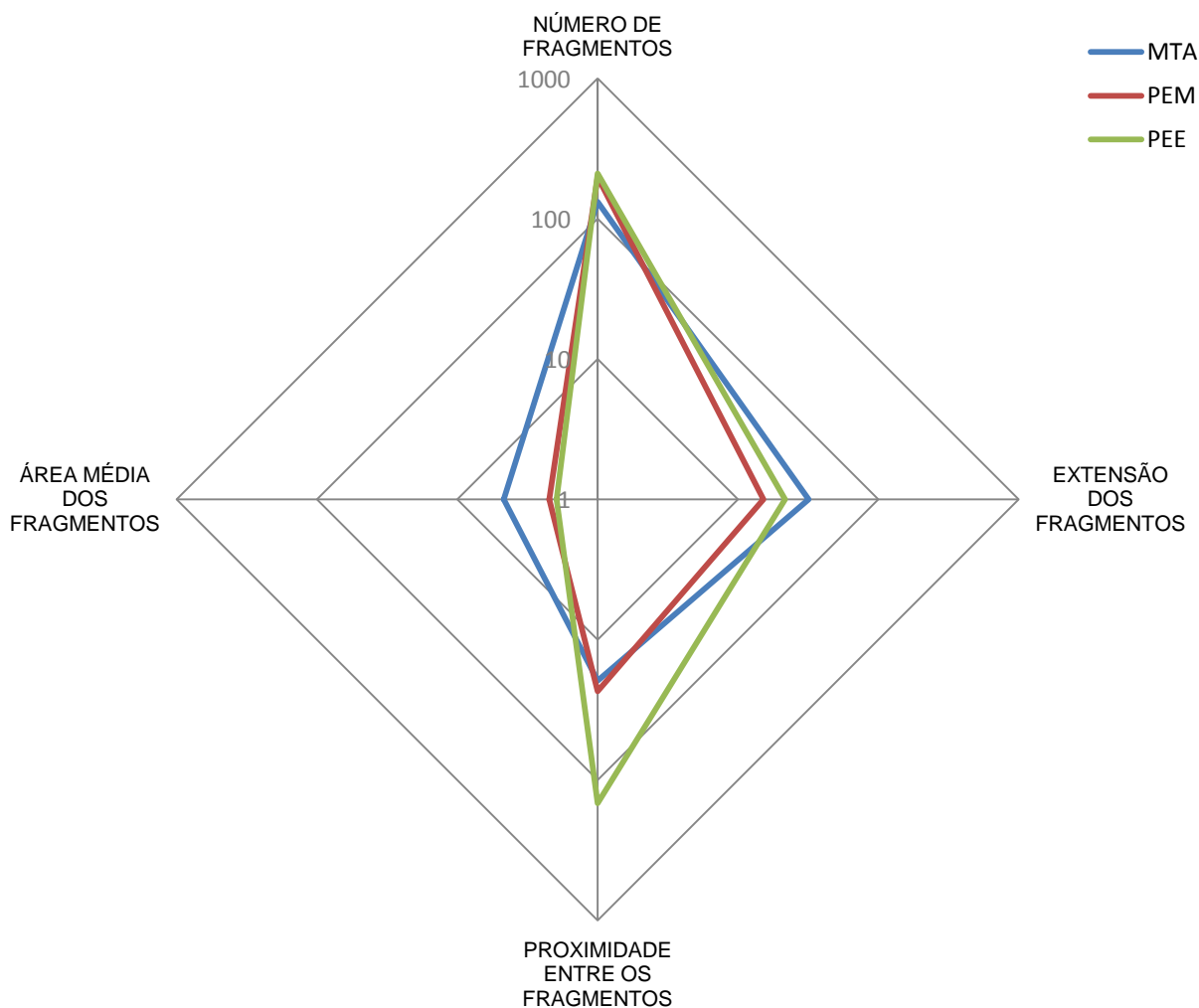
O cenário PEE é o que apresenta uma menor área urbana com cerca de 412 km<sup>2</sup>. Em 2007 as áreas urbanas ocupavam de 18% da área de estudo e de acordo com este cenário passam a ocupar 31%. É o cenário que possui mais fragmentos e que apresentam menor área média. Os espaços urbanos encontram-se menos isolados e menos coesos. Os fragmentos encontram-se mais agregados e possuem uma menor extensão comparativamente ao cenário MTA.

O cenário PEM apresenta uma área urbana com cerca de 441 km<sup>2</sup>. Em 2007 as áreas urbanas ocupavam de 18% da área de estudo e de acordo com este cenário passam a ocupar 33%, aproximando-se dos valores do cenário PEE. O número de fragmentos e a área média apresentam valores bastante próximos dos registados no cenário PEE. Os espaços urbanos encontram-se mais próximos uns dos outros, isto é, menos isolados e apresentam uma extensão menor do que no cenário MTA mas maior do que no cenário PEE. Este é o cenário em que os fragmentos se encontram mais dispersos, contudo os valores de coesão situam-se bastante próximos do cenário MTA.

**Tabela 14 – Métricas resultantes da utilização do *Fragstats*.**

MÉTRICA	1942	1963	1990	2007	2030		
					MTA	PEM	PEE
CA (ha)	1851	4950	15886	25147	60341	44059	41334
PLAND (%)	1,3	3,649	11,841	18,693	44,940	32,813	30,784
LPI (%)	0,228	0,627	0,982	3,676	8,481	5,617	15,996
NP (un.)	382	8516,50	12640,25	10812,75	1318,38	1977,02	2093,13
PD (un/ha)	0,267	5,94	8,82	7,54	0,92	1,37	1,46
AREA_MN (ha)	5,069	16,576	16,621	22,947	46,665	22,165	19,625
TE (m)	226643,51	611937,5	1450150	2010750	1548362	2126808,5	2174124
GYRATE_MN (m)	75,764	126,897	133,378	125,321	318,770	151,760	216,775
PROX_MN	7,304	26,164	154,816	352,284	196,360	232,790	1468,790
ENN_SD	702,773	599,911	341,575	267,747	458,265	186,450	358,900
COHESION	90,104	94,496	97,071	98,352	99,801	99,766	99,932

De forma a sintetizar os padrões de crescimento dos três cenários foram seleccionadas as métricas *Number of Patches*, *Radius of Gyration Distribuiton*, *Mean Patch Area* e *Proximity Index* que expressam o número de fragmentos, a extensão de fragmentos, a área média dos fragmentos e a proximidade entre os fragmentos. Estas métricas são as que permitem caracterizar melhor o crescimento e foram expostas através de um gráfico do tipo radar.



**Fig. 36 – Padrão do Crescimento Urbano dos cenários MTA, PEM e PEE. As unidades estão expressas em escala logarítmica de base 10. Fonte: Autor.**

Através da análise dos dados verifica-se que se as tendências actuais de crescimento se mantiverem as áreas urbanas da Península de Setúbal tendem a expandir-se em “mancha de óleo” em que o número de fragmentos diminui abruptamente e aumentam a área média dos espaços urbanos.

É possível constatar que a Estrutura Ecológica funciona como um meio de controlo do crescimento em “mancha de óleo” uma vez que evita a ocorrência de um aumento da área média dos espaços urbanos, contudo provoca uma maior fragmentação das áreas urbanas contudo estas são mais agregadas, mas menos coesas e menos extensas. Quanto maior são os valores de restrição



atribuídos às componentes da Estrutura Ecológica mais essas características se acentuam. Apesar de fragmentar mais o espaço o número de fragmentos quer no PEE quer no PEM continuam a ser significativamente inferiores aos registados em 2007.

Os resultados obtidos nos cenários PEM e PEE vão de encontro com o objectivo do PROTAML de adoptar um modelo de desenvolvimento mais compacto e policêntrico de forma a contrariar o modelo extensivo e fragmentado que tem sido seguido nas últimas décadas e que se iria manter caso as tendências actuais de crescimento permanecessem (Assembleia Metropolitana de Lisboa 2011).

A cidade compacta é um modelo sustentável de desenvolvimento urbano e é caracterizado pelas densidades elevadas e uso de solo diversificado. Deste modo a cidade procura resolver os seus problemas dentro dos seus próprios limites, evitando o crescimento em “mancha de óleo” e o consumo de mais terrenos. Em termos ambientais, para além da diminuição dos problemas de poluição, leva a uma diminuição do consumo de recursos naturais e a uma redução da pressão sobre áreas ainda não urbanizadas (Gomes 2009; Madureira 2005). Este modelo tem integrado os objectivos da Estratégia Temática sobre o Ambiente Urbano e do programa de Desenvolvimento Urbano Sustentável Integrado da Comissão Europeia (Comissão Europeia 2004; Comissão Europeia 2000).

Apesar dos cenários PEE e PEM satisfazerem os critérios de cidade compacta, o cenário que melhor se ajusta é o PEE. Apesar deste gerar um maior número de fragmentos, mas ainda assim com um valor muito próximo do PEM, este permite a existência de uma maior agregação e coesão do espaço urbano juntamente com uma maior proteção dos recursos naturais, potenciado quer pela Estrutura Ecológica quer pelas Áreas de Aptidão Ecológica para Edificação que assumem valores de restrição mais elevados neste cenário. O facto do cenário PEE produzir mais fragmentos e destes estarem mais afastados entre si do que no PEM, neste caso, corresponde a uma situação positiva, na medida que traduz que a tendência do crescimento urbano vai de encontro a um modelo policêntrico.

# CAPÍTULO| 5

## CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS

Neste capítulo pretende-se apresentar uma síntese das principais conclusões do estudo, filtrando os mais relevantes de toda a análise efectuada. Para além disso é ainda importante acrescentar algumas limitações detectadas no decorrer da investigação, bem como sugerir indicações para pesquisas futuras.

### 5.1| CONCLUSÕES

De forma a poder enunciar as principais conclusões recorre-se às questões de pesquisa que foram apresentadas na introdução da presente tese:

#### **1. Que padrões de crescimento urbanos se verificaram no passado?**

Em 1940 as áreas urbanas eram muito dispersas e de baixa densidade, ocorrendo principalmente nas zonas marginais onde se destaca o Barreiro e Setúbal.

Em 1960 assiste-se a uma consolidação das áreas urbanas no arco ribeirinho poente do Tejo, nomeadamente Almada, Barreiro e Seixal e mais a sul, em Setúbal.

Em 1990 ocorre uma fragmentação do espaço urbano caracterizada por grandes fragmentos com elevada densidade e de crescimento rápido e por fragmentos de baixas densidades e crescimento lento. Começa-se a abandonar o modelo monocêntrico passando progressivamente para o policentrismo.

Em 2007 acentua-se o policentrismo. O crescimento continua a ser feito a partir da periferia de núcleos urbanos existentes aumentando significativamente a sua área e a sua extensão, torna-se cada vez mais consolidado. É evidenciada a tendência de crescimento urbano em “mancha de óleo”.

#### **2. A protecção dos recursos naturais tem sido respeitada?**

Com a análise ao conflito entre as áreas urbanas de 1940, 1963, 1990 e 2007 e as componentes da Estrutura Ecológica observou-se que mesmo com as Servidões e Restrições de Utilidade Públicas em vigor e a Estrutura Ecológica contemplada na lei desde a década de 70 (apesar de só ter tido expressão material nos anos 90), estas não foram respeitadas e não colocaram limites nem ordem à expansão urbana. Os Sistemas Húmidos juntamente com os Solos de Elevado e Muito Elevado Valor Ecológico constituíram as componentes mais afectadas pelo processo de urbanização cujas áreas de conflito correspondendo a 12% relativamente à área total. Apesar do desrespeito continuado pelos

recursos naturais apenas 13% da área total da Estrutura Ecológica (Nível 1 e Nível 2) se encontra ocupada por edificação.

### **3. Com que exactidão o modelo *SLEUTH* consegue prever o crescimento urbano?**

Através do exercício de validação do modelo *SLEUTH* para a área de estudo constatou-se que existem incorrecções na previsão do modelo nomeadamente o facto de ter previsto áreas urbanas em excesso, ou seja, a expansão urbana em áreas que não aconteceram na realidade. Ainda assim é possível concluir que o modelo está a prever correctamente a tendência do crescimento urbano.

Contudo com a crise que o País enfrenta e com as consequências lógicas que isso implica na área da construção, esse crescimento previsto poderá sofrer um atraso de alguns anos, ou seja, as áreas urbanas que o modelo previu para 2014 na realidade vão corresponder provavelmente às áreas urbanas uns anos mais a frente.

### **4. Que padrões de crescimento urbano são gerados de acordo com os cenários MTA, PEM e PEE?**

O cenário MTA apresenta um número de fragmentos urbanos mais baixo e com a área média de cada fragmento mais elevada relativamente aos restantes cenários. É o cenário onde os fragmentos se encontram mais distantes uns dos outros e possuem uma maior extensão. Verifica-se também a existência de uma maior coesão e agregação do espaço urbano.

No cenário PEM verifica-se que número de fragmentos e a área média apresentam valores bastante próximos dos registados no cenário PEE. Os espaços urbanos encontram-se menos isolados e apresentam uma extensão menor do que no cenário MTA mas maior do que no cenário PEE. Este é o cenário em que os fragmentos se encontram mais dispersos, contudo os valores de coesão situam-se bastante próximos do cenário MTA.

O cenário PEE é o que apresenta uma menor área urbana com cerca de 412 km<sup>2</sup>, que corresponde a 31% da área de estudo. É o cenário que possui mais fragmentos e que apresentam menor área média. Os espaços urbanos encontram-se menos isolados e menos coesos. Os fragmentos encontram-se mais agregados e possuem uma menor extensão comparativamente ao cenário MTA.

### **5. Qual dos cenários gera um melhor resultado a nível do padrão de crescimento urbano e a nível da protecção dos recursos naturais?**

Após a análise dos resultados obtidos através dos padrões de crescimento gerados é possível concluir que a Península de Setúbal se encontram num crescimento urbano em “mancha de óleo” conduzindo a um consumo substancial do solo e simultaneamente à perda de recursos naturais, afastando-se do modelo sustentável de cidade, a cidade compacta. O cenário MTA permite verificar

que estas características se vão acentuar ao longo do tempo levando a uma diminuição significativa dos fragmentos urbanos, ao aumento da sua área média e ainda a uma maior dispersão e por fim a um aumento da área total urbanizada, que neste caso corresponde a 44% da área de estudo.

A Estrutura Ecológica juntamente com as Áreas de Aptidão Ecológica para a Edificação revelaram ter a capacidade de controlar a coalescência, levando à consolidação do espaço urbano e simultaneamente garantindo a protecção dos recursos naturais. Tanto o cenário PEM como o PEE se adequam ao objectivo do PROTAML de adoptar o modelo de cidade compacta de forma a contrariar o modelo extensivo e fragmentado que tem sido seguido nas últimas décadas. Este cenário também traduz que o crescimento urbano tende a ocorrer de acordo com o modelo policêntrico. Contudo o cenário PEE é o que se revela mais ajustado uma vez que permite a existência de uma maior agregação e coesão do espaço urbano permitindo um melhor controlo no crescimento da área urbanizada que neste caso corresponde a 30% da área de estudo. Este cenário garante ainda maior protecção dos recursos naturais.

#### **6. O modelo SLEUTH é efectivamente uma ferramenta útil no planeamento urbano?**

Apesar do modelo *SLEUTH* ter algumas limitações, sendo as que mais se destacam a ausência de *inputs* relacionados com factores socio-económicos, é possível concluir através deste estudo, que de facto o modelo constitui uma ferramenta complementar bastante útil no planeamento. É de referir que o modelo nunca deverá ser o factor determinante na tomada de decisão porque apesar das previsões serem relativamente rigorosas estas não traduzem todos os fenómenos complexos que ocorrem na cidade e que são fundamentais para o planeamento, nomeadamente os factores socio-económicos como já foi referido. Ainda assim através das previsões do modelo é possível perceber as tendências do crescimento e testar políticas de ordenamento do território e outra das grandes vantagens é a produção de mapas de probabilidades como output permitindo uma visualização mais imediata de como serão as áreas urbanas no futuro.

### **5.2| LIMITAÇÕES**

No decorrer do presente estudo foram encontradas limitações a ter em consideração na análise de resultados e também em estudos futuros semelhantes:

- A utilização de diferentes bases cartográficas, nomeadamente as Cartas Militares, as Cartas Agrícolas e Florestais, o COS' 1990 e o COS' 2007, na elaboração dos ficheiros de *input* das áreas urbanas pode introduzir alterações nos resultados obtidos principalmente devido à ausência de um critério de fotointerpretação constante. Desta forma é aconselhável recorrer à detecção remota principalmente em escalas regionais para obter resultados mais rigorosos.

- O facto de o COS ter uma unidade mínima cartográfica de 1 ha pode ter alterado significativamente os valores dos coeficientes de crescimento nomeadamente o coeficiente de dispersão por não estarem incluídas as edificações mais isoladas e dispersas nas áreas rurais.
- A inexistência de um critério mais específico e rigoroso na escolha dos valores de *STOP*, *START* e *STEP* dos coeficientes de crescimento. Fase do processo de implementação do *SLEUTH* que permanece em constante evolução, com introdução de diferentes metodologias que permitem resultados finais mais fidedignos.
- Durante a instalação do modelo *SLEUTH* ocorreram alguns problemas nomeadamente o facto de não ter sido possível correr o autómato no sistema operativo Linux, apenas através do *Cygwin*. Para além disto na fase de teste as imagens apareceram corrompidas e verificou-se que este problema era frequente e implicava a alteração de algumas linhas de código no modelo.

### 5.3| PESQUISAS FUTURAS

Ao concluir este estudo verifica-se que existem inúmeras possibilidades de aplicações futuras que se podem fazer com o modelo *SLEUTH*, tais como:

- Perceber se o espaçamento entre os anos de controlo das áreas urbanas tem influência na precisão do modelo de prever o crescimento urbano;
- Estudar metodologias de selecção dos valores dos coeficientes de crescimento;
- Explorar a utilização do *Deltatron* para prever as alterações do uso do solo;
- Introduzir dados socio-económicos de forma a explorar cenários de sustentabilidade;
- Testar formas urbanas sustentáveis através da geração de cenários múltiplos, permitindo avaliar a premência e desempenho dos modelos territoriais a implementar em sede dos diferentes instrumentos de gestão territorial.

## BIBLIOGRAFIA

- Albergaria, C.A.S. de (2012). Um olhar crítico sobre o conceito e a prática da Reserva Ecológica Nacional. Disponível em <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11528> [consultado em 18 de Setembro de 2014].
- Andresen, T. & et al. (2004). *Estrutura Ecológica da Área Metropolitana do Porto*. Instituto de Ciência e Tecnologias Agrárias e Agro-alimentares.
- Aniceto, C.A. de C. (2010). Avaliação de impactes urbanísticos do novo aeroporto de Lisboa na península de Setúbal nas. Disponível em <http://run.unl.pt/handle/10362/4436> [consultado em 26 de Junho de 2014].
- Arquitecturas do Mar (2009). Caracterização Geral da Evolução Humana da Península de Setúbal. Disponível em [http://home.fa.utl.pt/~cfg/Arq\\_Mar-Sea\\_Arch-NCEAU/Concelho%20de%20Sesimbra/evolucao\\_ocupacao\\_humana\\_setubal\\_.pdf](http://home.fa.utl.pt/~cfg/Arq_Mar-Sea_Arch-NCEAU/Concelho%20de%20Sesimbra/evolucao_ocupacao_humana_setubal_.pdf) [consultado em 26 de Junho de 2014].
- Assembleia Metropolitana de Lisboa (2011). Reflexão em torno do PROTAML.
- Baila Antunes, P. (s.d.). A EVOLUÇÃO DO DIREITO E DA POLITICA DO AMBIENTE. *Millenium - Revista do Instituto Politécnico de Viseu*. Disponível em [http://www.ipv.pt/millenium/ect7\\_pba.htm](http://www.ipv.pt/millenium/ect7_pba.htm) [consultado em 7 de Julho de 2014].
- Barredo, J., M. Kasanko, N. McCormick & C. Lavalle (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning* **64**: 145 – 160.
- Barreto, F.M.M. de A. (2011). Contributo para a história da arquitectura paisagista em Portugal: arquitecto paisagista António Facco Vianna Barreto. Disponível em <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/4146> [consultado em 21 de Setembro de 2014].
- Batty, M. (1997). Cellular automata and urban form: a primer. *Journal of the American Planning Association* **63**(2): 266–274.
- Batty, M. & Y. Xie (1994). From cells to cities. *Environment and Planning B* **21**: 31 – 48.
- (1997). Possible urban automata. *Environment and Planning B* **24**: 175 – 192.
- Bennett, G. & K.J. Mulongoy (2006). Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. In: *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series*, 100. Disponível em <https://69.90.183.227/doc/publications/cbd-ts-23.pdf> [consultado em 24 de Junho de 2014].
- Bennett, G. & P. Wit (2001). The Development and Application of Ecological Networks - A review of proposals, plans and programmes.
- Brinkley, D. (2010). *The Wilderness Warrior: Theodore Roosevelt and the Crusade for America*. Harper Perennial.
- Burks, A. (1970). *Essays on Cellular Automata*. University of Illinois Press.

- Candau, J. & N. Goldstein (2002a). Multiple scenario urban forecasting for the California south coast region. In: *Proceedings of the 40th annual conference of the urban and regional information systems association, October 26–30, Chicago, Illinois*. Disponível em <http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/23993.pdf> [consultado em 11 de Maio de 2014].
- (2002b). Multiple scenario urban forecasting for the California south coast region. In: *Proceedings of the 40th annual conference of the urban and regional information systems association, October 26–30, Chicago, Illinois*. Disponível em <http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/23993.pdf> [consultado em 27 de Fevereiro de 2014].
- Candau, J.T. (2002). Temporal Calibration Sensitivity of the SLEUTH Urban Growth Model. University of California.
- CEAP (2013a). Estrutura Ecológica Nível 1. Lisboa. Disponível em [http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/pmapper/map\\_default.phtml?config=default&language=pt](http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/pmapper/map_default.phtml?config=default&language=pt) .
- (2013b). Estrutura Ecológica Nível 2. Lisboa. Disponível em [http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/pmapper/map\\_default.phtml?config=default&language=pt](http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt/pmapper/map_default.phtml?config=default&language=pt) .
- Centro Nacional de Informação Geográfica (1990). Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental para 1990 - COS' 1990. Lisboa.
- Chaudhuri, G. & K.C. Clarke (2013). The SLEUTH land use change model: A review. *International Journal of Environmental Resources Research* 1(1): 88–104.
- Clarke, K.C. (2008). A Decade of Cellular Urban Modelling with SLEUTH: Unresolved Issues and Problems.
- Clarke, K.C. & L.J. Gaydos (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science* 12(7) (Novembro): 699–714. doi:10.1080/136588198241617.
- Comissão Europeia (2000). *Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro*. Disponível em [http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_pt.pdf) .
- (2004). *Estratégia Temática sobre o Ambiente Urbano - Relatório Final*. Disponível em [http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/0401\\_finalreport.pdf](http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/0401_finalreport.pdf) .
- Costa, J.P. (2010). Criação de Cenários de Expansão Urbana com Recurso a Automatos Celulares no Apoio ao Planeamento e Gestão Territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal). Universidade do Porto.
- Direcção Geral do Desenvolvimento Regional (1993). *Operação Integrada de Desenvolvimento para a Península de Setúbal*.
- Eagles, P., S. McCool & C. Haynes (2002). *Sustainable Tourism in Protected Areas*. IUCN.
- European Environment Agency (2014). Indicative map of the Pan-European Ecological Network for central and eastern Europe — European Environment Agency (EEA). Figure. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/indicative-map-of-the-pan-european-ecological-network-for-central-and-eastern-europe> [consultado em 21 de Setembro de 2014].

- Ferreira, F. (2004a). Áreas classificadas na mão dos municípios. *PÚBLICO*. Disponível em [/sociedade/jornal/areas-classificadas-na-mao-dos-municipios-191105](http://sociedade/jornal/areas-classificadas-na-mao-dos-municipios-191105) [consultado em 17 de Julho de 2014].
- Ferreira, J.G. (2004b). Usos humanos da natureza: o exemplo da península de Tróia. In: *Actas dos Ateliers do V Congresso Português de Sociologia*, 71–78. Disponível em [http://www.aps.pt/cms/docs\\_prv/docs/DPR460e7b6188b95\\_1.pdf](http://www.aps.pt/cms/docs_prv/docs/DPR460e7b6188b95_1.pdf) [consultado em 15 de Setembro de 2014].
- Figueira, A. (2010). Estrutura Ecológica: Caso de Estudo - Concelho de Cinfães. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Flores, F. (1937). *Protecção da Natureza - Directrizes Actuais*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Franco, M. (2011). A Estrutura Ecológica Regional e os Planos Regionais de Ordenamento do Território Caso de Estudo – Área Metropolitana de Lisboa. Universidade de Lisboa. Lisboa.
- George, P. & S. Morgado (2005). Dinâmicas do uso e ocupação do solo no território metropolitano de Lisboa 1940-2001. *Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*(18): 94–115.
- Gil, C. (2013). *O Sector da Construção em Portugal 2012*. Instituto da Construção e do Imobiliário. Lisboa.
- Goitia, F.C. (1982). *Breve História do Urbanismo*. 9<sup>a</sup> ed. Editorial Presença. Lisboa.
- Gomes, I.M. da S.A. (2012). Fundamentos da estrutura ecológica: a estrutura ecológica municipal de Santo Tirso. Disponível em <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11229> [consultado em 8 de Julho de 2014].
- Gomes, J.C.B. (2009). A mobilidade ea teoria da cidade compacta. *Caso estudo: a cidade de Lisboa. Lisboa: Dissertação para obtenção do grau de mestre em arquitetura, Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa*. Disponível em <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139483716/disserta%C3%A7%C3%A3o%20Joana%20Gomes.pdf> [consultado em 30 de Setembro de 2014].
- Gong, P. & P. Howarth (1990). The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **56**(67)–(73).
- Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen*. G. Reimer. Berlim.
- ICNF (s.d.). Rede Natura 2000 — ICNF. Página. Disponível em <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/rn2000> [consultado em 22 de Setembro de 2014].
- INE (1945). *VIII Recenseamento Geral da População*. Lisboa.
- (1960). *X Recenseamento Geral da População*. Lisboa. Disponível em [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_main](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main).
- (1970). *XI Recenseamento Geral da População*. Lisboa.
- (1991). *XIII Recenseamento Geral da População*. Lisboa.



- (2001). *XIV Recenseamento Geral da População*. Lisboa.
- (2011). *XV Recenseamento da População*. Lisboa.
- Instituto Geográfico do Exército (1938a). Carta Militar de Portugal - 431.
- (1938b). Carta Militar de Portugal - 443.
- (1940). Carta Militar de Portugal - 441b.
- (1942). Carta Militar de Portugal - 455.
- Instituto Geográfico Português (2011). Carta de Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 - COS' 2007. Lisboa.
- James, G. (2005). Predicting the Spatial Pattern of Urban Growth in Honolulu County Using Cellular Automata SLEUTH Urban Growth Model. University of Hawai.
- Jantz, C.A., S.J. Goetz & M.K. Shelley (2004a). Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore -- Washington metropolitan area. *Environment and Planning B: Planning and Design* **31**(2): 251–271. doi:10.1068/b2983.
- (2004b). Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore -- Washington metropolitan area. *Environment and Planning B: Planning and Design* **31**(2): 251–271. doi:10.1068/b2983.
- Jongman, R. (1995). Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks.
- Jongman, R. & G. Pungetti (2004). *Ecological Network and Greenways - Concept, Design and Implementation*. Cambridge University Press.
- Kari, J. (2005). Theory of cellular automata: A survey. *Theoretical Computer Science* **334**(1)–(3) (Abril): 3–33. doi:10.1016/j.tcs.2004.11.021.
- (2009). Cellular automata. *Lecture notes, University of Turku*. Disponível em <http://cs.ioc.ee/~silvio/2013/ca/kari-ca-notes-2011.pdf> [consultado em 11 de Maio de 2014].
- Keith C. Clarke, S. Hoppen & L. Gaydos (1997). A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historic Urbanization in the San Francisco Bay Area.
- Liu, Y. (2009). *Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata*. CRC Press.
- Madureira, H. (2005). Paisagem urbana e desenvolvimento sustentável: apontamentos sobre uma estreita relação entre geografia, desenvolvimento sustentável e forma urbana. Disponível em <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/25612> [consultado em 30 de Setembro de 2014].
- Magalhães, M. (2001). *A Arquitectura Paisagista - Morfologia e Complexidade*. 1ª ed. Editorial Estampa. Lisboa.
- Magalhães, M. (2007). *Estrutura Ecológica da Paisagem - Conceitos e Delimitação: escalas regional e municipal*. 1ª ed. ISA Press. Lisboa.

- Magalhães, M. (2013). *Estrutura Ecológica Nacional - Uma proposta de delimitação e regulamentação*. 1ª ed. ISA Press. Lisboa.
- Maria de Almeida, C., M. Batty, A.M. Vieira Monteiro, G. Câmara, B.S. Soares-Filho, G.C. Cerqueira & C.L. Pennachin (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems* **27**(5): 481–509.
- McCormick, J. (1995). *The Global Environmental Movement*. 2ª ed. Wiley & Sons. Michigan.
- McGarigal, K. (2014). FRAGSTATS HELP. Disponível em <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf> [consultado em 30 de Setembro de 2014].
- Mell, I. (2008). Green Infrastructure: concepts and planning.
- Mitchell, M. (1996). Computation in cellular automata: A selected review. *Nonstandard Computation*: 95–140.
- Morrison, J.A. (2012). Geospatial modeling of population growth scenarios for the Humboldt Bay, California region: adapting SLEUTH to a rural environment. Humboldt State University. Disponível em <https://humboldt-dspace.calstate.edu/handle/2148/1037> [consultado em 11 de Maio de 2014].
- Neto, C. & J. Teixeira (2011). Guia da Excursão à Península de Setúbal e Estuário do Sado. In: . Lisboa.
- Nucci, J.C. (2007). Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da paisagem. *Revista Eletrônica Geografar* **2**(1): 77–99.
- Odum, E. (1988). *Fundamentos da Ecologia*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Pardal, S. (2002). Planeamento do Espaço Rústico : As Irracionalidades da RAN e da REN. *ADISA e CESUR*.
- (2006). A apropriação do território. *Crítica aos diplomas da RAN e da REN (“in Portuguese”)*. Ingenium Edições, Lda., Ordem dos Engenheiros. Disponível em [http://www.estig.ipbeja.pt/~ac\\_direito/Pardalapropriacaodoterritorio.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~ac_direito/Pardalapropriacaodoterritorio.pdf) [consultado em 16 de Fevereiro de 2015].
- Pregill, P. & N. Volkman (1999). *Landscapes in History: Design and Planning in the Eastern and Western Traditions*. John Wiley & Sons.
- Quinta-Nova, L. (1995). Análise da evolução de uma área na Península de Setúbal na sequência de um processo de alteração de uso bem caracterizado. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Rodrigues, J. (2013). Influência da Reserva Ecológica Nacional no Processo de Urbanização: A utilização de Autómatos Celulares no Concelho de Albufeira.
- Salgueiro, T.B. (2002). *Gestão Urbana – passado, presente e futuro: Cidade, território de mudança*. Parque Expo '98 S.A. Lisboa.

- Santé, I., A.M. García, D. Miranda & R. Crecente (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning* **96**(2) (Maio): 108–122. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.03.001.
- Schmidt, L. (2008). Políticas Ambientais em Portugal - processos e insucessos entre o “global” e o “nacional.” In: . Lisboa.
- Silva, A. (2011). Conceção e Desenvolvimento do Sistema de Informação Geografica do Património Arbóreo do Município da Amadora. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Silva, E.A. (2002). Cenários de Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa.
- Silva, E.A. & K.C. Clarke (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems* **26**(6): 525–552.
- SROA (1950). Carta Agrícola e Florestal de Portugal- 431.
- Syphard, A.D., K.C. Clarke & J. Franklin (2005). Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California. *Ecological Complexity* **2**(2) (Junho): 185–203. doi:10.1016/j.ecocom.2004.11.003.
- Teixeira, M.C. (1992). As estratégias de habitação em Portugal, 1880-1940. *Análise Social*: 65–89.
- Tenedório, J. (2003). *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*. Área Metropolitana de Lisboa. Lisboa.
- Turing, A.M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *J. of Math* **58**: 345–363.
- US Geological Survey (2003). Project Gigalopolis: urban and land cover modeling. Disponível em <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/> .
- Vaz, E. (2011). Regional Change in the Algarve: A Geographic Information Systems Approach. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Wang, H., S. He, X. Liu, L. Dai, P. Pan, S. Hong & W. Zhang (2013). Simulating urban expansion using a cloud-based cellular automata model: A case study of Jiangxia, Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning* **110** (Fevereiro): 99–112. doi:10.1016/j.landurbplan.2012.10.016.
- White, R. & G. Engelen (1993). Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A* **25**: 1175–1199.
- Wolfram, S. (1983). Statistical Mechanics of Cellular automata.
- (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media.
- Wu, F. & C. Webster (1998). Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B*.
- Yeh, A.G.-O. & X. Li (2006). Errors and uncertainties in urban cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems* **30**(1) (Janeiro): 10–28. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2004.05.007.

Anon.(2014). Guia da Cidade. *Guia da Cidade*. Disponível em ://www.guiadacidade.pt/pt/poi-peninsula-de-troia-19706 .

#### LEGISLAÇÃO CONSULTADA:

Constituição da República Portuguesa, 1822. Disponível em:  
[http://debates.parlamento.pt/Constituicoes\\_PDF/CRP-1822.pdf](http://debates.parlamento.pt/Constituicoes_PDF/CRP-1822.pdf)

Constituição da República Portuguesa, 2005. Disponível em:  
<http://www.parlamento.pt/Legislacao/Paginas/ConstituicaoRepublicaPortuguesa.aspx>

Decreto-Real de 22 de Março de 1868, Domínio Público Hídrico.

Decreto nº 3387/17, 26 de Setembro, Estabelece o Domínio Público Hídrico.

Decreto-Lei nº 468/71, 5 de Novembro, Revê, actualiza e unifica o regime jurídico dos terrenos do Domínio Público Hídrico.

Decreto-Lei nº 343/75, 3 de Julho, Adota medidas para disciplinar certas actuações na utilização dos solos e da paisagem.

Decreto-Lei nº 356/75, 8 Julho, Estabelece disposições destinadas a dar mais eficiência à defesa dos terrenos de maior aptidão agrícola.

Decreto-Lei nº 357/75, 8 de Julho, Aprova medidas de protecção ao relevo natural, ao solo arável e ao revestimento vegetal.

Decreto-Lei nº 613/76, 7 de Julho, Áreas Protegidas, sítios e lugares de interesse cultural.

Decreto-Lei nº 451/82, 16 de Novembro, Institui a Reserva Agrícola Nacional.

Decreto-Lei nº 321/83, 5 de Julho, Estabelece a Reserva Ecológica Nacional.

Decreto-Lei nº 19/93, 23 de Janeiro, introduz na ordem jurídica as noções de parque nacional e reserva, teve início o acompanhamento da evolução internacional de protecção da Natureza, através da classificação das áreas mais representativas do património natural.

Decreto-Lei nº 140/99, 24 de Abril, Procede à revisão da transposição para o direito interno das directivas comunitárias relativas à conservação das aves selvagens (Directiva Aves) e à conservação dos habitats naturais e da fauna e da flora selvagens (Directiva *Habitats*).

Decreto-Lei nº 380/99, 22 de Setembro, Define o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial.

Decreto-Lei n.º 316/2007, de 19 de Setembro, que procede à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 380/99 de 22 de Setembro, que estabelece o regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial.

Decreto-Lei nº 142/2008, 24 de Julho, Estabelece o Regime Jurídico da Conservação da Natureza e da Biodiversidade e revoga os Decretos-Leis nº 264/79, de 1 de Agosto, e nº 19/93, de 23 de Janeiro.

Decreto-Lei nº 181/2009, 7 de Agosto, Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 316/2007, de 19 de Setembro, que procedeu à quinta alteração ao Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, que estabelece o regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial.

Decreto-Lei n.º 46/2009, de 20 de Fevereiro, que procede à sexta alteração ao Decreto-Lei nº 380/99, de 22 de Setembro, que estabelece o regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial.

Decreto-Lei nº 239/2012, 2 de Novembro, Procede à primeira alteração (e republicação) ao Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, que estabelece o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional.

Decreto-Regulamentar nº 11/2009, 29 de Maio, Estabelece os critérios de classificação e reclassificação do solo, bem como os critérios e as categorias de qualificação do solo rural e urbano, aplicáveis a todo o território nacional.

Directiva 79/409/CEE, 2 de Abril, que pretende que cada um dos Estados Membros tome as medidas necessárias para garantir a protecção das populações selvagens das várias espécies de aves no seu território da União Europeia (Directiva Aves).

Directiva nº 2000/60/CEE, 23 de Outubro, Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da água.

Directiva 2009/147/CEE, 30 de Novembro, Conservação de Aves Selvagens.

Lei nº 9/70, 19 de Junho de 1970, atribui ao Governo a incumbência de promover a protecção da Natureza e dos seus recursos em todo o território, de modo especial pela criação de parques nacionais e de outros tipos de reservas.

Lei nº 54/2005, 15 de Novembro, Estabelece a titularidade dos recursos hídricos.

Lei nº 58/2005, 29 de Dezembro, Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Lei nº 11/87, 7 de Abril, Define as bases da política de ambiente.

Portaria nº 235/75, 7 de Abril, Adota medidas de carácter urgente respeitantes à não utilização para fins de florestação de terrenos com aptidão agrícola, especialmente em regiões de grande propriedade.

Resolução do Conselho de Ministros nº 152/2001, 11 de Novembro, Adota a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade.

## ANEXOS



REDE VIÁRIA 1963



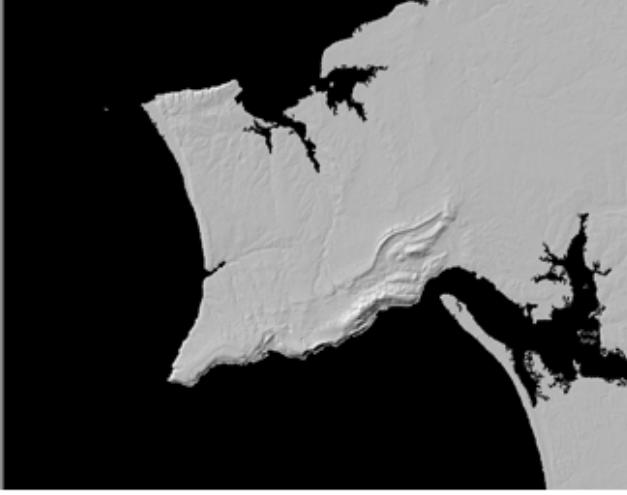
REDE VIÁRIA 2007



RELEVO SOMBREADO



RELEVO SOMBREADO - MAR



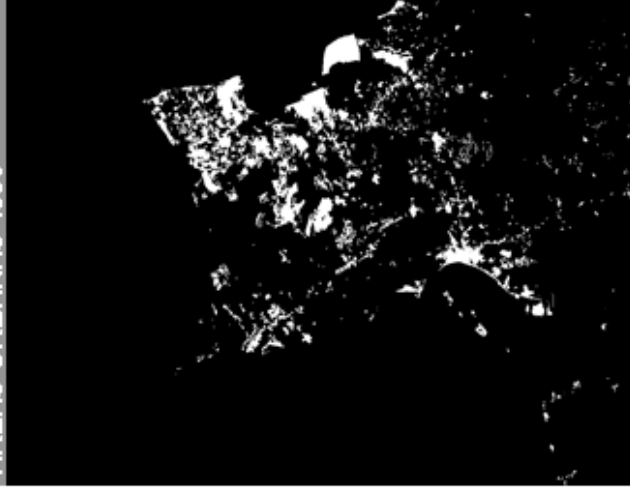
ÁREAS URBANAS 1940



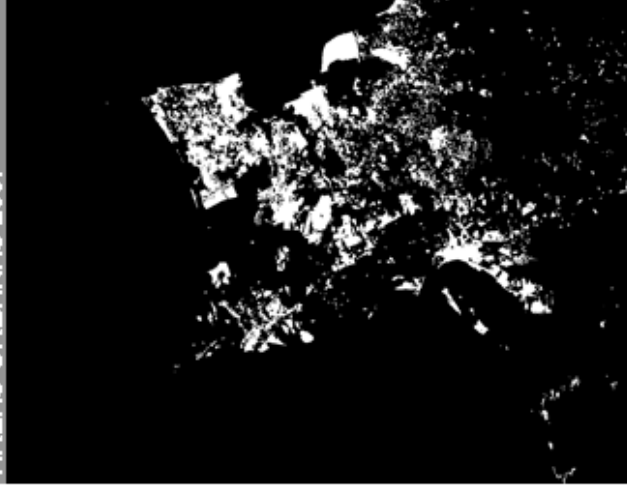
ÁREAS URBANAS 1963



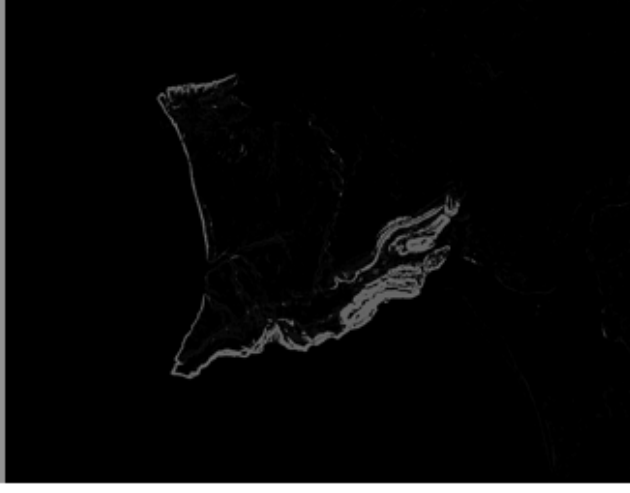
ÁREAS URBANAS 1990



ÁREAS URBANAS 2007



DECLIVES



EXCLUSÃO| MTA



EXCLUSÃO| PEM



EXCLUSÃO| PEE

